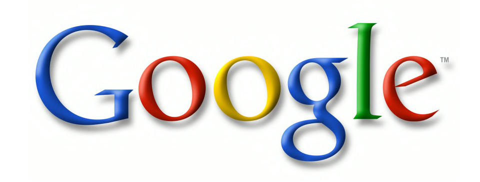
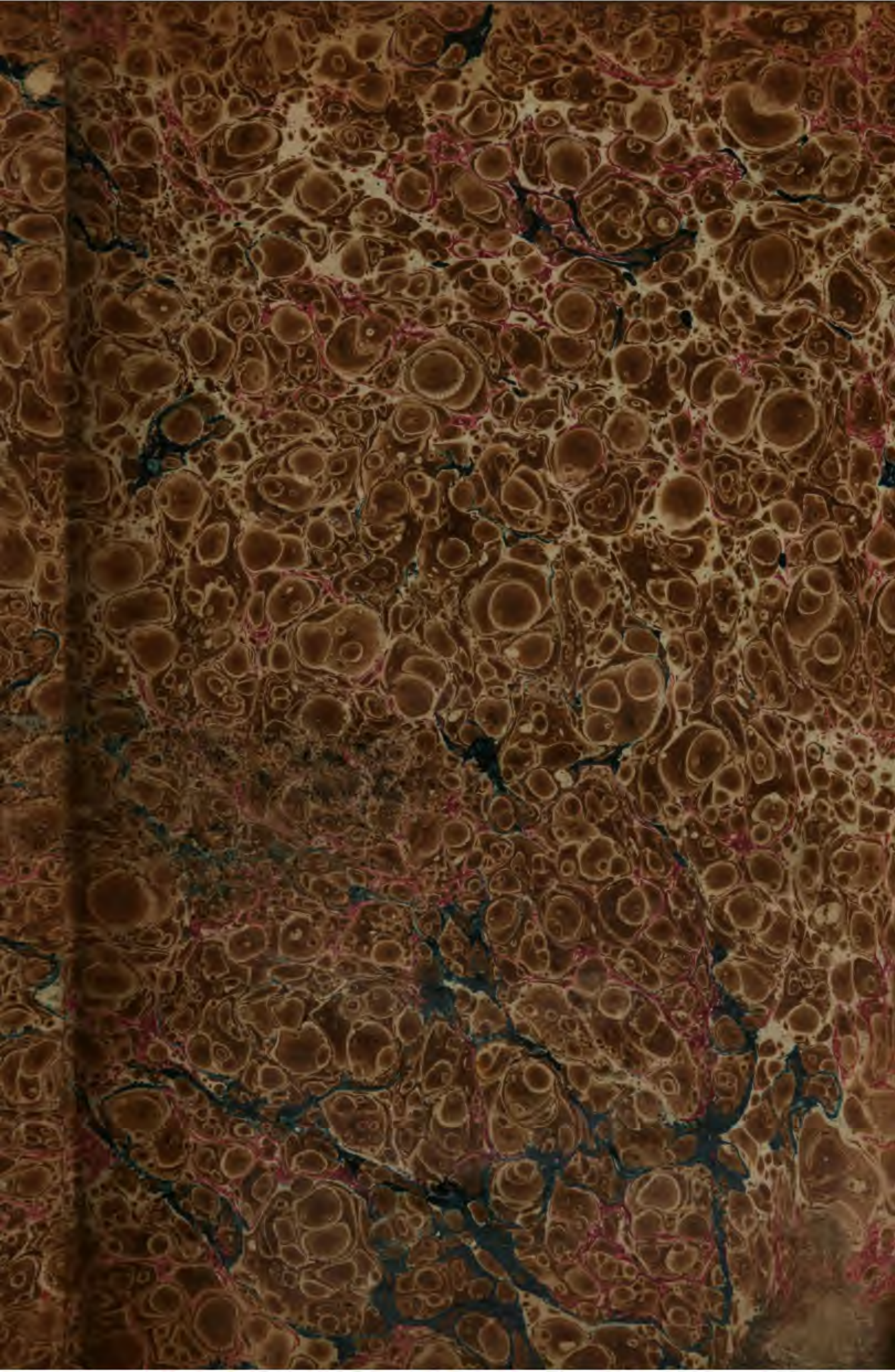
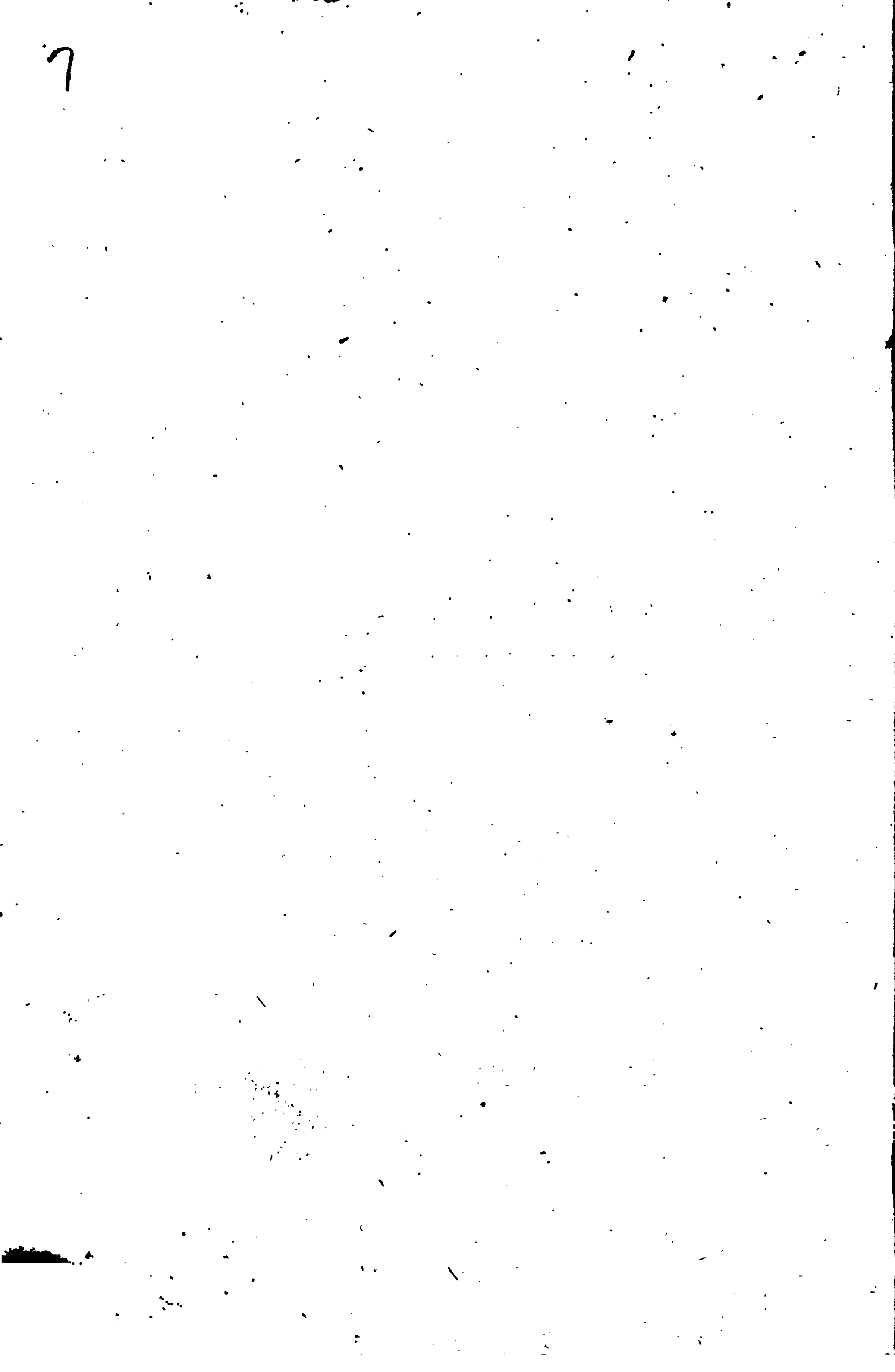



1817
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE





RECHERCHES

SUR LE MOUVEMENT

DES ONDES.

$1.36

RECHERCHES

SUR

LE MOUVEMENT

DES ONDES.

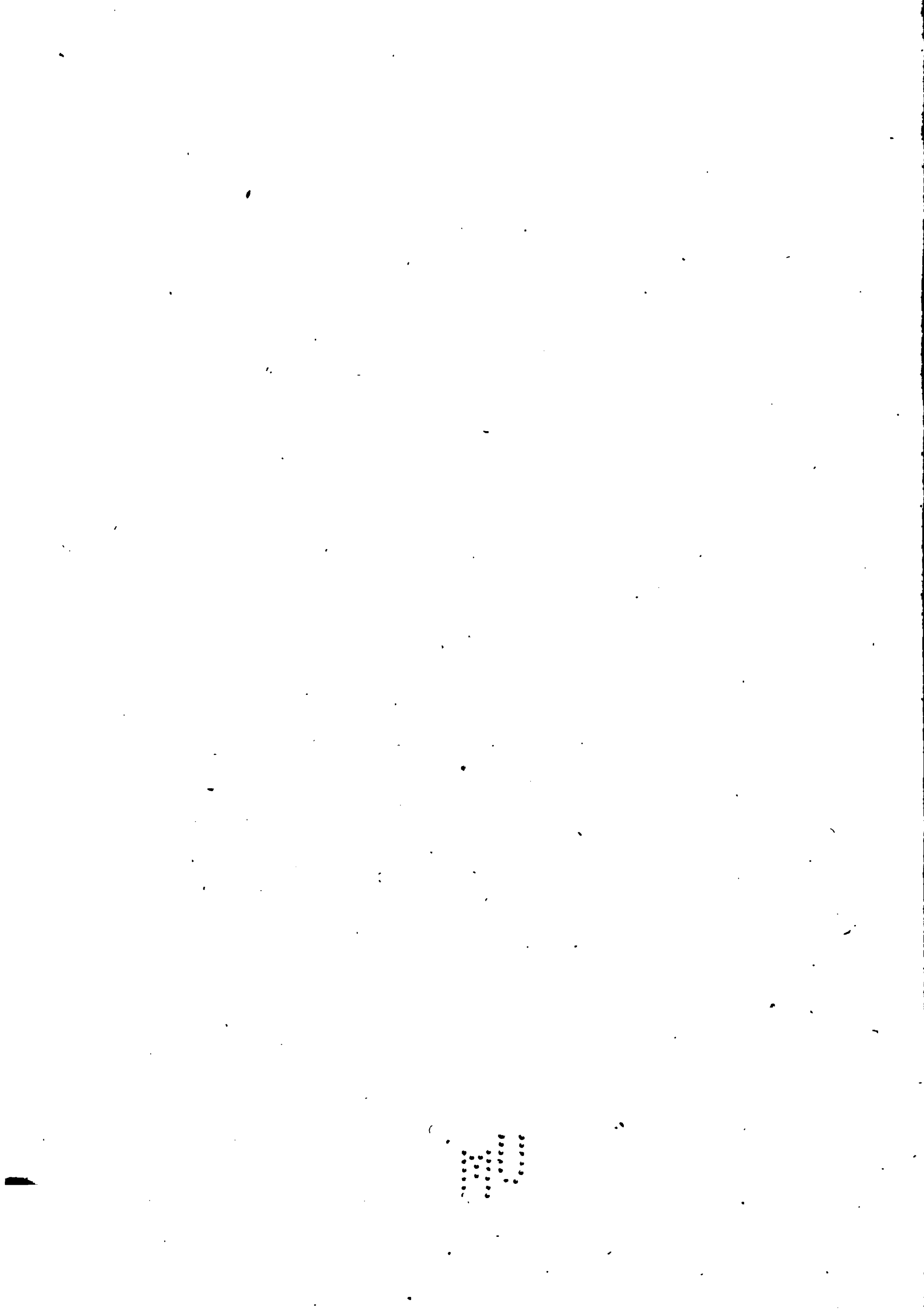
PAR M. N. TH. BREMONTIER,

INSPECTEUR-GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES, MEMBRE DE LA LÉGION D'HONNEUR, DE LA SOCIÉTÉ IMPÉRIALE D'AGRICULTURE DU DÉPARTEMENT DE LA SEINE; DE CELLE DES SCIENCES, ARTS ET BELLES-LETTRES DE BORDEAUX, DE CAEN, ET DE PLUSIEURS AUTRES SOCIÉTÉS SAVANTES.

A PARIS,

DE L'IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT, LIBRAIRE, ET GRAVEUR DE L'IMPRIMERIE IMPÉRIALE, RUE DE THIONVILLE, N° 10.

1809.



AVIS DE L'ÉDITEUR.

L'AUTEUR modeste et peu connu de l'ouvrage que je publie, aurait pu dire, en l'offrant au public : *J'ai reculé les bornes de la science physique.*

Mais cette assertion, que j'émets pour lui, M. Bremontier ne l'eût jamais articulée : la trempe de son ame n'admettait point le sentiment qui la fait naître ; et l'absence de cette conviction imprime à son ouvrage un caractère de timidité qui le présente dans une sorte d'enfance aux yeux des savants.

Associé à ses travaux pendant les cinq dernières années de sa vie ; son parent, le collaborateur de ses expériences, de ses calculs, de ses observations multipliées, je suis arrivé avec lui au but de ses méditations ; j'en ai saisi les résultats, et j'en provoque la manifestation : mais, quelque persuadé que je sois du succès, je déclare, cependant, que mon opinion n'est pas ici mon seul guide ; et, si le vœu de quelques hommes distingués par leurs lumières ne m'y déterminait, je ne hasarderais pas l'hommage que je fais au public.

Une autorité d'un grand poids vient encore justifier le sentiment qui m'anime. Son Excellence M. le comte de Montalivet, ministre de l'intérieur, avait daigné prendre communication du manuscrit sur le *Mouvement des Ondes* : elle l'avait lu avec toute l'attention, toute

la sévérité d'un juge; et après avoir reconnu la solidité de la théorie neuve et lumineuse qui y est établie, son influence particulière dans la confection des travaux maritimes, et tous les avantages qui en résultent pour les sciences et pour les arts, elle avait consenti que l'ouvrage lui fût dédié.

La mort n'a pas permis à M. Bremontier de mettre lui-même le public en possession de sa découverte. Je lui succède dans cette entreprise. Heureux si, en conservant un Ouvrage précieux pour les sciences, je puis ajouter quelque chose à la mémoire d'un homme déja recommandable par ses travaux antérieurs, et digne, par ses qualités personnelles, de l'estime et des regrets de ses concitoyens.

P. B. SOREL.

Nota. Cet ouvrage se vend chez Firmin Didot, imprimeur de l'Institut, rue Jacob, n° 24.

A MONSIEUR LE COMTE

DE MONTALIVET,

CONSEILLER D'ÉTAT, DIRECTEUR-GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MONSIEUR LE COMTE,

s faire hommage d'un écrit dont le but endre le domaine de la physique, c'est r à l'un des plus zélés protecteurs des s et des arts : puisse ce faible écrit, EUR LE COMTE, justifier l'intérêt que avez mis ; puissent les savants, déter- par votre suffrage, accueillir avec im- té un travail destiné à substituer des es vrais aux principes vicieux d'une fautive et erronée. La Science vous devable, MONSIEUR LE COMTE, d'une erte extrêmement importante, et vous

aurez fixé le sort d'un ouvrage, qui, sans votre appui, n'eût peut-être pas obtenu les regards de ceux à qui il est essentiellement adressé.

Je suis, avec le plus profond respect,

MONSIEUR LE COMTE,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

BREMONTIER.

PRÉFACE.

Depuis long-temps j'avais cru remarquer que le mouvement des ondes se faisait sentir à des profondeurs très-considérables, tandis qu'on était généralement persuadé qu'il n'agissait effectivement qu'à quelques metres de la superficie de la mer.

Impatient de vérifier mes observations, de convertir en réalité ce qui n'était encore qu'un soupçon, et de rectifier des principes que je regardais comme erronés, sur une matiere aussi importante, je me livrai à des expériences suivies, qui toutes me confirmerent dans mon opinion; mais accoutumé à me défier de moi, à douter même des choses les plus positives en apparence, je voulus consulter les ouvrages des plus grands physiciens, et ceux des plus célebres naturalistes, pour m'assurer si l'objet de mes recherches ne les avait pas occupés.

Je reconnus qu'aucun d'eux, pas même l'immortel et universel Newton, n'avait eu la pensée du mouvement vertical des ondes, à de très-grandes profondeurs.

Puis-je me flatter d'avoir résolu le problême proposé, comme on le verra ci-après, par la Société royale des Sciences de Copenhague, en 1794? C'est ce que je ne balance point à affirmer; et j'ose dire que mes observa-

tions, appuyées d'expériences absolument neuves, répandront un nouveau jour sur cette matiere, et dirigeront le physicien vers la vérité.

Tel est le but du faible essai que je présente au Public. La diminution de mes forces, le temps, les occasions, les localités convenables, et plus encore une longue et douloureuse maladie, ne m'ont pas permis d'y mettre la derniere main. Heureux si, malgré son imperfection, il obtient le suffrage des hommes éclairés, et démontre la vérité du principe que j'établis.

Qu'on ne s'attende pas à trouver dans ce petit écrit le mérite du style qui fait particulièrement valoir les ouvrages polémiques : uniquement occupé de l'objet de mes recherches, je me suis borné à exprimer mes pensées d'une manière simple et précise, et je me repose sur l'indulgence des lecteurs pour toutes les fautes de rédaction que mon état de santé m'a invinciblement empêché de faire disparaître.

RECHERCHES SUR LE MOUVEMENT DES ONDES.

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION ET DÉFINITION DE QUELQUES TERMES NÉCESSAIRES POUR L'INTELLIGENCE DES MATIÈRES.

PREMIERE SECTION.

INTRODUCTION.

1. La Société royale des Sciences de Copenhague proclama, en 1794 ou 1795, le programme qui suit:

« Comment, et dans quel rapport la hauteur, « la largeur et la longueur des ondes dépendent-« elles des dimensions des eaux dans lesquelles « elles sont formées. »

2. M. de la Coudraye, officier de marine très-exercé dans son art, et savant d'un mérite rare et bien reconnu, composa en conséquence un mémoire sur la théorie des ondes; mais quoiqu'il n'eût pas résolu le problème, son travail fut couronné; et il semble, d'après cela même, que l'Académie avait jugé comme M. de la Coudraye, que la résolution de ce problème était impossible.

3. Lorsque ce programme fut publié, il y avait déja plusieurs années que je m'occupais de recherches sur le mouvement des ondes. Je n'avais point parcouru les mers comme M. de la Coudraye : mes faibles connaissances se bornaient à l'examen des effets des vagues sur nos côtes, et dans quelques ports de la France que j'avais habités. J'avais observé et reconnu, sinon avant lui, au moins avant que j'eusse pu profiter des observations lumineuses, des expériences et des méditations profondes que l'on trouve dans son excellent ouvrage, que les bases sur lesquelles la théorie des ondes était établie, n'étaient pas solidement appuyées, et que les conséquences qui devaient dériver d'un faux principe, pouvaient nous jeter dans de grandes erreurs.

J'avais avancé dans mon Mémoire sur les dunes du golfe de Gascogne, remis à l'administration

en 1786, et je me proposais chaque jour de le prouver, que la masse énorme de sables dont ces monticules ou ces montagnes sont composées, provenait des débris des côtes d'Espagne et de ceux des Pyrénées ; et il fallait nécessairement pour cela que ces matieres fussent transportées par les eaux ; qu'elles traversassent au-dessous des pertuis, des gorges ou de l'embouchure des rivieres de l'Adour, de Saint-Jean-de-Luz, de la Bidassoa, du Passage, etc., etc. ; qu'elles fussent enfin roulées sur le lit de la mer à des profondeurs très-considérables, c'est-à-dire, quelquefois à plus de 70 ou 80 pieds au-dessous de sa surface, ce qui avait été de tout temps contesté.

Chargé de l'exécution d'un travail très-important, d'où dépendait la conservation d'une ville et d'un des ports essentiels de la France, je m'aperçus que les effets des vagues, et en général le mouvement des eaux de la mer, soit sur ses bords, soit sur les lieux mêmes où elle avait acquis une assez grande profondeur, n'étaient pas conformes à ceux que j'en devais attendre, d'après des principes d'hydrostatique généralement reçus, et que j'avais moi-même d'abord adoptés.

Je proposai en conséquence, pour l'exécution de nos ouvrages, de nouveaux moyens de cons-

truction ; je voulus prouver, d'après mes propres expériences, que les grands talus dans les digues ou dans nos travaux maritimes, n'étaient, au moins dans bien des cas, ni les plus avantageux, ni les plus économiques, ni les plus efficaces pour résister aux fureurs de la mer, ainsi qu'on l'avait toujours présumé, et je mis en avant plusieurs assertions fondées seulement sur quelques faits que je me contentai de citer, et que je n'appuyai alors par aucune démonstration rigoureuse.

Ces assertions, consignées dans un mémoire remis à l'administration centrale des ponts et chaussées en 1788, rejetées sans examen par le plus grand nombre des physiciens, comme contraires à la théorie des fluides, furent profondément réfléchies par deux hommes justement célebres parmi les ingénieurs des ponts et chaussées (MM. Perronet et de Chezy), et dont les grandes connaissances dans leur art sont attestées par les monuments éternels qu'ils nous ont laissés. M. de Prony, jeune ingénieur encore, mais dont les talents rares annonçaient déja ce qu'on devait attendre de lui par la suite, fut chargé de la rédaction du rapport que M. Perronet, alors malade, devait remettre sur cet objet ; et c'est ainsi que celui-ci s'explique.

« De pareilles assertions ont tellement l'air d'un « paradoxe, qu'en les supposant bien constatées « par l'expérience, on serait tenté de croire que « les phénomenes qui y ont rapport ne peuvent « s'expliquer par les principes connus de la mé- « canique des fluides.

« Malgré cette universalité des opinions contre « ces assertions, on ne peut empêcher de conve- « nir que les raisons et les expériences sur les- « quelles M. Bremontier appuie son opinion, sont « d'un grand poids, etc. »

Cette espece d'incertitude ou d'indécision de la part du premier Ingénieur des ponts et chaussées de France, la confiance que j'avais dans ses lumieres et dans celles de MM. de Chezy et de Prony, me fit comprendre que la théorie des fluides, contre laquelle j'avais des faits à opposer, pouvait être perfectionnée, et exigeait une étude plus particuliere et plus approfondie que celle qu'on en avait faite jusqu'alors. Le besoin de prouver mes assertions m'a déterminé à combattre un principe que j'avais cru vicieux, quoique universellement adopté; mais ce n'est qu'en tremblant que j'ose ici hasarder mon opinion.

Je me trouverai sans doute trop heureux si la discussion dans laquelle je vais entrer peut jeter

quelques lumieres sur des phénomenes qui, jusqu'à ce jour, étaient restés dans une assez profonde obscurité, et si elle donne occasion aux savants, ou à des hommes plus instruits que moi, de faire les recherches nécessaires pour qu'il ne reste rien à desirer sur la connaissance d'un objet aussi important : tout ce que je dirai d'ailleurs est appuyé par des expériences que j'avais faites moi-même, et sur des faits constatés par des personnes sur l'exactitude desquelles on peut compter.

4. Mon but essentiel est de prouver : 1° que les grands talus que l'on croit les plus propres à résister à la fureur des ondes, peuvent au contraire, dans bien des cas, causer la destruction des ouvrages auxquels on les applique.

2° Que les sables et les graviers peuvent être remués, transportés, charriés ou roulés dans le lit de la mer à de grandes profondeurs, et que par conséquent le mouvement des eaux se fait sentir assez puissamment à ces profondeurs.

3° De chercher enfin s'il ne serait pas possible de déterminer le point où ce mouvement cesse.

Mais je dois auparavant sans doute commencer par exposer ces expériences ou ces faits, afin que l'on puisse juger d'abord s'ils ont assez de poids pour balancer les opinions reçues, et assez de force pour étayer un nouveau système.

SECTION II.

Définitions de quelques termes nécessaires pour l'intelligence des matieres.

Il ne sera pas inutile, je crois, de rappeler succinctement ici tout ce qui a été dit ou démontré par les physiciens qui ont déja traité cette matiere, afin d'éviter des recherches qui pourraient devenir pénibles à ceux qui n'en auraient aucune connaissance, et même à ceux encore qui croiraient devoir combattre quelques assertions qu'ils trouveront nouvelles s'ils prennent la peine de les étudier ou de lire ce petit ouvrage.

5. On se sert assez ordinairement des mots *flot*, *vague*, *lame*, *ondulation* et *onde*, pour exprimer (quelle qu'en soit la cause) les dérangements, ou plutôt l'exhaussement et l'abaissement excessif que l'on remarque à la surface des eaux. Il est pourtant vrai que ces mots ne sont pas toujours synonimes : on dit le *creux* d'une lame, le *creux* d'une vague, et on ne pourrait pas dire le *creux* d'une onde, ni le *creux* d'un flot. L'expression de la fureur des flots, la fureur des vagues, la fureur des lames, la fureur des ondes, pourrait être rigoureusement permise ; mais quoiqu'on reconnaisse des ondulations plus ou moins fortes,

on ne pourrait pas dire la fureur des ondulations.

Pl. I, fig. 1. 6. Soit la surface ABCDEF d'une eau agitée, la ligne KML peut être considérée comme le *niveau vrai*. Mais *le niveau vrai* des eaux de la mer ne peut exister, parce qu'une multitude infinie de causes tendent continuellement à le déranger; il faudrait pour cela que tous les points de sa surface fussent à égale distance du centre de la terre, et que tout ce qui existe dans la nature fût mort, ou dans un repos absolu.

La surface de la mer est donc continuellement agitée, et ce dérangement ne peut arriver sans dénivellation.

Nous entendons par *dénivellation*, la moitié d'une perpendiculaire HA, tirée entre les deux lignes HG et AC, parallele à la ligne KM, que nous supposons être celle du vrai niveau de la mer, dont l'une est tangente à la partie la plus profonde du creux qui se trouve entre deux ondes, et l'autre à leur sommet.

7. La lame de *réflexion* est celle qui, venant frapper contre un rocher à pic, ou un mur élevé d'à-plomb, est forcée de retourner sur elle-même: elle produit alors de nouvelles ondulations sur la surface de la mer.

8. Lorsqu'une lame venant du large, arrive

sur la plage AC, elle s'éleve en se développant vers A, et remonte toujours beaucoup au-dessus de la ligne de niveau CN; elle revient ensuite sur elle-même, et descend sur le plan incliné AC. Pl. I, fig. 2.

Elle rencontre au point B, à son retour, la lame D, qu'elle précédait, et le choc qui résulte de cette rencontre ralentit beaucoup la marche de ces deux lames ; elles sont alors l'une et l'autre dans une situation forcée, qui n'existe point dans le cas que nous venons de supposer ; mais leur mouvement, quoiqu'en sens contraire, n'est jamais tout à fait détruit : celle qui vient passe sur celle qui s'en va, et celle-ci continue de se mouvoir encore quelque temps de C en *c*. Cet effet, que nous appellerons indifféremment *ressac*, comme les marins, ou *lame de retour*, est très-remarquable, et aisément aperçu par celui qui veut bien se donner la peine de l'observer. Il est une suite aussi nécessaire que naturelle des lois du mouvement ; il doit même se faire sentir à une profondeur d'autant plus grande, que l'inclinaison de la plage ou du lit de la mer est plus forte, ou approche le plus de la verticale.

Ces deux lames, lorsqu'elles se sont réunies, forment un bourlet, ou plutôt une espece de prisme irrégulier, dont la plus forte épaisseur se trouve du côté des terres.

Nous distinguerons cette lame de la *lame de fond*, dont nous parlerons ci-après, quoique quelques-uns de leurs effets soient à-peu-près les mêmes pour ceux qui se trouvent sur la surface de la mer, parce que les causes de ces effets agissent dans un sens diamétralement opposé.

Nous ne devons pas confondre cette *lame de retour* avec la *lame de réflexion*, c'est, ainsi que nous l'avons déja dit, que le mouvement de la premiere se fait verticalement comme celui des autres ondes, et que celui de la lame de retour agit obliquement, ou sur la surface du sol qu'elle doit parcourir, tant qu'elle n'aura pas assez de fond pour se développer, ou reprendre son mouvement naturel et vertical.

9. Les *lames de fond* sont produites par celles qui viennent du dehors, et qui ne trouvant plus assez de profondeur pour se développer, sont repoussées de bas en haut par le lit de la mer qu'elles touchent, et par lequel elles sont réfléchies : nous essayerons encore de démontrer comment ce contre-mouvement peut s'opérer.

Ces lames de fond sont quelquefois, dans une nuit obscure, dans les brumes ou les brouillards épais, un avertissement très-salutaire pour les navigateurs, du danger éminent dont ils sont

menacés, et dont autrement ils ne pourraient même soupçonner l'existence. M. de Bougainville, homme à jamais célebre par son voyage autour du monde, a sauvé, par ce seul indice, une frégate du Roi, et tous les marins qui étaient dessus; ce bâtiment était sur le point de se briser sur les roches, au moment où ce mouvement irrégulier dans les ondes fut aperçu. Les marins attentifs et bien exercés ne s'y trompent gueres; on le reconnaît aisément par la différence du tangage et par le mouvement de la barre ou du gouvernail.

10. Si le fond sur lequel ces ondes passent sans y trouver assez de profondeur pour se développer, est sablonneux, uni, et s'éleve en pente douce, l'onde ne fait que se soulever et se gonfler doucement à sa surface. Si au contraire il est inégal, parsemé de monticules et de roches, ces inégalités se répetent sur la superficie des eaux, y engendrent une foule de petites lames inégales et agitées en différents sens, et la mer, comme l'on dit, devient alors *clapoteuse*.

Les lames de retour, de réflexion et de fond, peuvent occasionner également une espece de désordre dans la surface des mers, et y former des ondes clapoteuses.

11. Les lames sourdes ABC, CDE, se re- Pl. I, fig. 3.

marquent sur les attérages comme dans les mers les plus profondes ou sans fond, ou du moins dont on ne trouve pas le fond avec les sondes. Ces lames, dont la largeur est quelquefois immense, sont toujours au-dessous des autres ondes, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, etc., qui se trouvent à la surface de la mer, quelque fortes qu'elles soient; et la direction de ces dernieres est le plus souvent oblique, et même en sens absolument opposé à celles des premieres, sans que le mouvement des unes ou des autres soit dérangé.

Les lames sourdes sont l'effet de plusieurs causes : elles peuvent être produites par la grande oscillation du flux et du reflux, ou du moins par les courants qui en sont nécessairement la suite; par les tremblements de terre, les volcans sous-marins, et le plus souvent sans doute par ces énormes lames soulevées par les tempêtes au milieu des plus hautes mers ou dans les parties de l'Océan les plus profondes.

Les lames sourdes peuvent donc être généralement considérées comme de très-grosses ondes, considérablement amorties, et dont les causes qui leur ont imprimé leur premier mouvement ont cessé depuis assez long-temps pour qu'un

coup de vent ou une autre action quelconque ait pu occasionner de nouvelles ondes sur leur surface.

Les lames sourdes, dont l'existence est attestée par tous les navigateurs, nous fournissent un moyen facile d'expliquer un phénomene dont jusqu'à présent, je crois, la véritable cause avait été absolument inconnue, ou du moins sur lequel nous n'avions que des notions très-incertaines.

Les habitants des bords de la mer, les ouvriers occupés aux travaux des ports, comme les marins qui ont passé leur vie à la parcourir, assurent qu'il existe dans la succession des ondes, soit en pleine mer, soit sur les attérages, lorsqu'elles viennent briser sur la côte ou sur le rivage, une période d'intermittence entre celles qui se trouvent à-peu-près d'égale grandeur, et que la sixieme ou la septieme est toujours la plus forte, abstraction faite toutefois de quelques circonstances qui peuvent déranger cette espece d'ordre. J'ai souvent reconnu l'existence de ce phénomene, et remarqué que si la plus forte lame n'était pas toujours la septieme, elle se trouvait du moins quelquefois la sixieme ou la cinquieme, plus ou moins : nous reviendrons sur cet objet.

12. Les eaux en mouvement, gênées par des

obstacles quelconques, tels que des îles, des caps, des digues, des épis, et même par les montagnes et les inégalités du fond de la mer, s'élevent plus ou moins au-dessus de leur niveau, qu'elles cherchent continuellement à rétablir; de là ces tournoiements qu'on appelle *remous*, ces especes de gouffres ou entonnoirs dans lesquels on voit s'engloutir diverses especes de corps flottants, et d'où, si l'on en croit les navigateurs, les plus gros vaisseaux ont quelquefois de la peine à se retirer.

Les remous sont d'autant plus forts que la masse des eaux est plus considérable, que leur cours est plus rapide, que l'espece de chûte qu'elles éprouvent est plus forte, et que le bassin dans lequel elles vont se répandre à plus de largeur, de longueur et de profondeur.

13. On entend par *brisants*, des hauts fonds, des bancs, des roches, sur lesquels les vagues sont gênées dans leur mouvement, ou quand elles n'ont point assez d'espace pour se développer.

On dit aussi qu'une vague *brise* lorsque le mouvement de sa partie supérieure est dérangé, arrêté ou accéléré par une cause quelconque, lors enfin que ses eaux soulevées retombent sur elles-mêmes en écumant.

Les vagues brisent toutes, et à toutes les profondeurs, par un très-gros vent.

14. On entend encore par *flot*, *barre* ou *mascaret*, la premiere lame qui, soit dans la mer, soit dans les fleuves, annonce le retour de chaque marée, aussitôt qu'on peut l'apercevoir, on dit : la marée arrive, il est marée.

Cette lame, absolument insensible sur la plupart des bords de la mer, est, dans la riviere de Seine, où on la désigne généralement par le nom de premiere vague, ou de *barre*, et dans celles de la Dordogne et de la Gironde par celui de *mascaret*, souvent effrayante et quelquefois terrible par ses effets. Elle est toujours moins forte sur le milieu de ces rivieres que sur les bancs de sable et sur les rives, où elle culbute, remplit et emporte quelquefois les petites barques qui sont à sec lorsque les eaux sont basses ; elle en dégrade les berges, dont elle déracine les arbres. Lorsqu'un navire, même d'une certaine grandeur, a le malheur de s'échouer sur les bancs, à fleur des basses eaux qui se trouvent dans la Seine vis-à-vis Quillebeuf, les matelots l'abandonnent s'il est dans une mauvaise position, c'est-à-dire s'il présente le flanc à ces courants, pour ne pas s'exposer à perdre la vie : il est quelquefois chaviré ou jeté sur la côte par le mascaret.

A cette premiere vague en succede une deuxieme, à celle-ci une troisieme, et quelquefois une quatrieme, qui diminuent toutes successivement de hauteur, et insensiblement les courants du reflux sont établis.

Le *mascaret*, c'est ce mot que nous adoptons de préférence à celui de premiere vague ou de flot, parce que ces derniers peuvent être pris sous plusieurs acceptions différentes ; le mascaret, dis-je, est plus ou moins fort, suivant que les diverses circonstances qui concourent à sa formation sont plus ou moins multipliées. Ces circonstances dépendent de l'ouverture, de l'embouchure des fleuves ou rivieres, de la profondeur et des diverses largeurs de leur lit, de la hauteur à laquelle peuvent s'élever les eaux des marées, et de la vîtesse des courants qui se trouvent à sa rencontre, de l'inclinaison des rives, de celle des bancs, etc., etc.

Nous donnerons ci-après l'explication de ce phénomene.

15. Quoique dans quelques ouvrages sur la théorie des ondes, on se soit servi du mot de *largeur* pour exprimer la distance prise entre les deux points du milieu AC, des deux creux qui déterminent effectivement la largeur de la base

Pl. I, fig. 1.

d'une lame, nous avons cru devoir ici parler le langage des marins, et substituer à ce mot celui de *longueur*. Dans tous leurs procès-verbaux et dans tous les ouvrages qu'ils publient, ils disent toujours que les lames sont *longues* ou que les lames sont *courtes*, suivant que ces deux points sont plus ou moins rapprochés.

16. On dit encore qu'un banc, qu'une terre, une côte est *acore*, quand elle est à-peu-près coupée à pic, et quand elle conserve cette disposition à une certaine profondeur au-dessous du niveau de la mer. Dans plusieurs îles de la mer du Sud, dans le détroit de Magellan, dans la mer Rouge, etc., etc., il y a des côtes *acores*, à cent pas desquelles on ne trouve point de fond avec une ligne de cent brasses. Les bancs de Terre-Neuve, dont le dessus est depuis deux cent cinquante jusqu'à cinq cents pieds au-dessous de la surface de la mer, sont acores.

CHAPITRE II.

OBSERVATIONS ET FAITS DÉJA BIEN RECONNUS, ET QUI NE PEUVENT ÊTRE SUSCEPTIBLES DE DISCUSSION.

PREMIERE SECTION.

Principes adoptés et sur lesquels est fondée l'ancienne théorie du mouvement des ondes.

17. Si l'on jette au milieu d'un bassin d'une profondeur suffisante, et dont les eaux soient sans mouvement, une pierre, un morceau de bois ou un corps pesant quelconque, il en dérange la surface, forme une premiere ondulation, celle-ci une deuxieme, celle-là une troisieme, et successivement jusqu'à une distance presque infinie, et jusqu'à ce qu'enfin ce calme soit tout à fait rétabli : ces ondulations sont circulaires et concentriques.

18. Si trois de ces corps tombaient en même temps, à une certaine distance les uns des autres, sur cette même surface, chacun d'eux deviendrait le centre d'ondulations également concentriques,

et les ondulations, en s'éloignant de leur centre EGH, se rencontrent, se traversent et se croisent, sans qu'aucune d'elles change de direction, et sans être dérangées sensiblement par le choc qu'elles semblent devoir éprouver dans leur rencontre; elles continuent leur marche jusqu'à ce qu'elles trouvent un obstacle qui les réfléchisse; elles reviennent alors sur elles-mêmes, arrivent sur le bord opposé du bassin; s'il est assez court, y sont de nouveau réfléchies, mais toujours en diminuant insensiblement de hauteur, et le calme sur le bassin finit par se rétablir. Pl. II, fig. 1.

19. Comme chaque point de contact ou de réflexion sur les bords du bassin devient le plus souvent lui-même le centre de nouvelles ondulations, il résulte de là une multitude de lames de différentes grosseurs, dont on ne peut alors remarquer que confusément les directions, sur-tout quand les différents points du bassin sur lesquels elles viennent toucher sont plus ou moins escarpés ou plus ou moins irréguliers, ou quand elles cessent d'y trouver la profondeur nécessaire à leur développement.

20. Si au contraire cette profondeur est assez grande, et qu'on suppose qu'elles vinssent frapper directement contre un mur ED, élevé d'aplomb

et sur le milieu duquel on pût du centre G abaisser une perpendiculaire HI; elles formeront de nouvelles ondes *abc*, *def*, et *ghi*, mais dans une direction diamétralement opposée à celle qu'elles avaient d'abord.

On doit observer, 1° que dans cette circonstance le centre de la nouvelle portion de cercle *abc*, *def*, et *ghi*, se trouve en dehors du bassin, sur le prolongement de la ligne HI, au point K, et que le rayon générateur de l'arc *abc* est composé de HI + *b*I celui de l'arc *def*, de HI + *b*I + *bc*, etc.

Cet effet est facile à concevoir, il est au reste déja bien reconnu, et conforme à toutes les expériences.

21. 2° Que s'il existait un vide au pertuis LM dans ce mur, avec un canal ou un bassin au-delà, d'une longueur indéfinie, ces mêmes ondulations parcourraient ce canal jusqu'à ce que, par la tendance naturelle que tous les corps ont au repos, elles fussent réduites à *zéro*, en conservant d'abord la même longueur à-peu-près que celles qui n'auraient point rencontré d'obstacles. Je dis à-peu-près, à cause du retard qu'elles éprouveraient par le frottement des murs, sans cependant que la durée de leur oscillation fut trop sensible-

ment altérée, c'est-à-dire que si ces ondes mettaient, je suppose, dans leur ascension et leur dépression une ou deux secondes, une ou deux minutes, une ou deux heures, et même davantage, le temps qu'elles emploieraient dans leur révolution serait le même que celui des premieres ondulations dont elles ont reçu leur mouvement.

3° Que si au lieu de ce canal, dont on a supposé la largeur à-peu-près égale à l'ouverture de ce pertuis, on supposait au contraire un bassin de forme irréguliere, mais d'une assez grande étendue, ce pertuis deviendrait alors lui-même le centre de nouvelles ondulations concentriques, mais qui diminueraient d'autant plus précipitamment de hauteur, que cette ouverture serait plus étroite, sans augmentation ni diminution dans la durée de l'oscillation.

Ces deux dernieres observations méritent d'autant plus d'attention, qu'elles doivent servir à l'explication de quelques phénomenes ou effets des marées dans les fleuves et dans les rivieres.

22. On doit observer encore que ces ondulations, toujours demi-circulaires et toujours concentriques, ne sont pas très-sensiblement dérangées dans leur cours, même par les ondes beaucoup plus fortes qui viennent du large dans un sens

diamétralement opposé. Nous sommes même très-convaincus qu'elles n'éprouveraient aucune espece d'altération dans cette marche rétrograde, si la profondeur des eaux était telle qu'elles pussent entièrement s'y développer. Nous essayerons plus bas de donner la raison de ce phénomene ou d'en expliquer la cause.

23. On peut conclure de cette concentricité dans le mouvement des ondes, lorsqu'il n'a pu s'anéantir par quelqu'obstacle, par l'espace ou par le temps, et par la faculté qu'elles ont de se rencontrer et de se traverser sans dérangement dans leur direction ou leur marche, qu'elles doivent nécessairement toutes venir aboutir sur les bords de ce bassin; et en effet, quelle que soit même la violence ou l'intensité des vents de terre, les vagues de la mer qui se brisent sur les côtes, viennent toutes du large et du côté opposé à ces vents.

SECTION II.

Faits constatés par les marins ou par tous ceux qui ont observé le mouvement des ondes.

24. Par un vent très-fort, mais assez égal, ou dont l'intensité était assez constamment la même, je n'ai jamais vu, par exemple, dans un lac ou

bassin de deux ou trois cents pieds de largeur et de trois ou quatre pieds de profondeur, les lames acquérir une hauteur de deux ou trois pouces.

25. Dans les étangs de Biscarosse, de la Canau et d'Hourtins, qui ont plusieurs lieues de longueur, et depuis un jusqu'à plus de trente pieds de profondeur, les vagues les plus fortes n'ont gueres qu'un pied et demi ou deux pieds de hauteur.

26. Le fond de ces étangs descend par une pente insensible vers les dunes qui retiennent les eaux, et les empêchent de se rendre directement à la mer, de maniere que ces eaux ont quelquefois vingt-cinq et trente pieds de profondeur près de ces dunes vers l'ouest, et rarement plus d'un, deux, trois et quatre pieds à cent ou cent cinquante toises, et même souvent à deux cents toises et plus de leur bord à l'est, ou du côté des terres. Par les vents d'ouest les plus violents, les vagues, à ces diverses profondeurs, n'ont gueres qu'un pied, un peu plus ou un peu moins, de hauteur; on voit évidemment qu'elles diminuent de grosseur à mesure que le fond s'éleve, puisqu'elles ont jusqu'à deux pieds du côté opposé. Il faudrait, pour bien juger de cet effet, que le vent se calmât tout-à-coup, et que l'observateur

se trouvât sur le lieu lorsque ce cas (d'ailleurs assez rare) arrive, car quelques heures après que le vent a cessé, la surface de ces étangs devient unie en très-peu de temps, et d'une tranquillité parfaite.

27. Dans le bassin ou golfe d'Arcachon, lors de la marée haute, la superficie est d'environ douze lieues, et la profondeur de six, douze, dix-huit et jusqu'à près de cent pieds. La hauteur des ondes est au plus de trois, quatre ou cinq pieds; encore, diverses causes étrangeres, telles que l'opposition des courants, la communication de ses eaux avec la mer, contribuent pour beaucoup à les faire élever à cette hauteur.

Les vagues sur les bancs ou sur les hauts-fonds du bassin d'Arcachon diminuent également de volume à mesure que ces haut-fonds s'élevent davantage ou s'approchent plus près de sa surface.

28. Je n'ai jamais vu, quoique je l'aie observé à diverses reprises, que dans la petite rade de Toulon, les vagues acquissent une grosseur plus considérable par les plus violents coups de vent du nord-ouest, que dans le bassin d'Arcachon et les autres bassins de ce genre.

On remarque cependant presque toujours des lames sourdes dans ceux de ces bassins qui ont une communication avec la mer.

29. J'ai souvent entendu dire à des officiers de marine, et d'un mérite très-distingué, que les lames de la Méditerrannée étaient beaucoup plus courtes, c'est-à-dire, qu'elles avaient beaucoup moins de hauteur et moins de longueur que celles de l'Océan.

Les marins les plus ignorants, comme les plus instruits, conviennent de ce fait. M. de la Coudraye dit et prouve positivement (pag. 115 et 116) que les vagues sont d'autant plus grosses que les mers sont plus larges et plus profondes; que dans les mers Méditerrannées, quelque profondeur qu'elles aient, ces vagues sont gênées et retenues par la petitesse du local; ce n'est que dans l'Océan que les ondes peuvent acquérir cette grandeur colossale si imposante, qui, quelquefois, à de très-petites distances, dérobent deux bâtiments à la vue l'un de l'autre, et au milieu desquelles le plus gros vaisseau ne semble plus qu'une machine petite et frêle.

Il dit positivement encore, d'après les remarques qu'il en a faites lui-même, que les ondes sur le grand banc de Terre-Neuve ne trouvent déja plus assez de fond pour leur entier développement, quoique ce fond, comme je l'ai déja dit, soit constamment depuis deux cent cinquante

pieds jusqu'à cinq cents pieds au-dessous de la surface de la mer : cette assertion est celle de tous ceux qui font la pêche de la morue sur ce banc.

3o. Lorsque les vents sont calmes, la mer aussi tranquille qu'on puisse le supposer, ses ondes, qui n'ont gueres dans ce cas que six pouces ou un pied de hauteur, offrent au spectateur placé à une certaine élévation au-dessus (au haut de la tour de Cordouan, par exemple), une suite continue de larges et immenses glaces en mouvement, et parfaitement unies, mais un peu concaves, si ses yeux se fixent sur le milieu du creux des vagues, et convexes s'il les jette sur leur partie la plus élevée ou leur sommet; dans ces circonstances, ces ondulations ne brisent que sur la plage, sur-tout lorsqu'elle est suffisamment inclinée : mais, sans que le calme cesse, il arrive quelquefois que dans l'espace de quelques heures elles augmentent successivement de hauteur. Elles brisent alors quatre et cinq fois plus ou moins avant de parvenir sur la plage, suivant que leur volume est plus ou moins considérable, et avant de briser sur les hauts-fonds sur lesquels elles passent, elles les indiquent aussi toujours successivement par une espece de soulevement que tout le monde peut apercevoir aisément.

31. Entre les deux forts de Sainte-Barbe et du Soccoa, on trouve deux roches isolées, nommées *Artha*, dont, suivant des nivellements exacts, le sommet est à vingt-huit pieds au-dessous de la surface des basses mers de vive eau.

Lorsqu'une vague de cinq ou six pieds seulement de hauteur arrive sur ces roches, sa forme change, et y acquiert un degré d'élévation à laquelle les autres ne parviennent pas. Quelques patrons ou marins avec qui j'étais, et à qui je fis observer cet effet, me dirent : *c'est Artha qui hausse les épaules*, et ils m'observerent en même temps que c'était une marque que le temps allait changer et la mer grossir ; et, effectivement, douze ou quinze heures après, elle devint, sinon furieuse, au moins très-agitée.

32. Quand par un temps assez calme pour ne pas pouvoir distinguer de quel côté vient le vent, la mer est cependant violemment agitée, ce qui n'est pas rare lorsque l'atmosphere est chargée de brume, une vague de huit à dix pieds de hauteur brise sur ces roches, au moment de la haute marée, quoique leur sommet soit alors à trente-huit ou quarante pieds au-dessous du niveau vrai de la surface de la mer, tandis qu'elle ne brise ni en avant, ni à droite, ni à gauche, ou,

d'après les nivellements qui en ont été faits, cette profondeur est de dix-huit ou vingt pieds plus considérable.

On doit observer qu'une vague en temps calme ne peut briser sans éprouver une réaction assez forte de la part des terres, des bancs ou des roches sur lesquels elle passe, et sans par conséquent être gênée dans sa marche ou son développement.

33. Ce rocher est contigu à d'autres roches plus avancées dans la mer, et plongées à cinquante ou soixante pieds et plus au-dessus de sa surface.

Lorsque les ondes brisent en passant sur *Artha*, on s'aperçoit très-bien qu'avant d'y parvenir elles commencent à éprouver le même soulevement dont nous venons de faire mention, sur ces premieres roches. Il arrive même, lorsque les vagues continuent de grossir, que deux ou trois de ces lames y brisent à-la-fois, ou, comme disent les gens du pays, à deux ou trois rangs, c'est alors que la mer est véritablement furieuse. Cette circonstance se présente, dit-on, assez souvent à l'entrée du port de Saint-Jean-de-Luz; mais pendant environ soixante jours en tout que j'ai passés dans cette ville (c'était à la vérité toujours dans

la belle saison), les ondes n'ont jamais été assez fortes pour que je pusse être témoin de ce fait.

34. Placé sur une des plus hautes dunes des environs de la Teste, sur le bord de la mer, dans ce moment fortement agitée, et à cent quatre-vingt pieds plus haut que son niveau, je distinguais parfaitement tous les hauts-fonds sur lesquels les ondes venaient se briser, quoique l'on m'ait assuré que la surface de plusieurs de ces bancs était à plus de quinze ou dix-huit pieds au-dessous de celle de la basse mer. On ne pouvait voir, sans une sorte d'admiration, une assez grande quantité de ces especes d'îles, remarquables par leur blancheur et par les eaux qui jaillissaient à une grande hauteur au-dessus, entre lesquelles semblaient rouler majestueusement ces masses colossales, sans que leur marche ou leur forme parussent éprouver la moindre altération.

SECTION III.

Divers effets des vagues sur les plages, sur les bords de la mer et sur les roches contre lesquels elles viennent mourir ou se briser.

35. Pendant un temps superbe, un vent léger d'est, ou un vent de terre, la houle venant de l'ouest, la mer assez calme ou assez tranquille

pour permettre que l'on s'occupât de la fondation des deux digues de Sainte-Barbe et du Soccoa à Saint-Jean-de-Luz, j'ai souvent été témoin que des lames d'un ou deux pieds au plus de hauteur perpendiculaire, ayant dix-huit à vingt toises de base, frappant sur le rocher C A, et en même temps sur la digue B A, puis réfléchies vers F, où elles se trouvaient arrêtées et comprimées dans l'angle formé par ces masses inébranlables, s'élevaient quelquefois jusqu'à douze et quinze pieds (quatre et cinq metres) au-dessus du parapet de cette digue, c'est-à-dire trente-six et quarante pieds (douze à treize metres) au-dessus de leur niveau.

Pl. II, fig. 2

36. Le développement des vagues sur les plages, lors des tempêtes, produit les effets les plus terribles : les lits des rivieres à leur embouchure sont obstrués et quelquefois tout-à-fait fermés par l'immense quantité de sable et de graviers que les flots arrachent du sein de la mer où ils avaient été déposés, et en quelque sorte régalés, pendant les temps calmes; transportent et accumulent sur les rives où ils forment des bancs ou des digues qui retiennent les eaux et les font refouler au loin dans les terres.

Des pierres de plus d'un millier pesant sont arrachées des murs les plus solides, roulées et promenées à travers des roches escarpées, et trans-

portées à deux et trois cents toises de distance dans le court intervalle de quelques heures, ou au plus d'une marée.

Les bases des plus hautes montagnes sont minées en-dessous et sappées, et les masses énormes qui s'en détachent sont successivement décomposées et disparaissent en peu de temps, comme tous les corps exposés au choc réitéré de ces lames désastreuses.

37. Les filets dont se servent les pêcheurs de Gujan, de la Teste, et de toutes les communes qui sont sur les bords du bassin d'Arcachon ont chacun de quarante-cinq à cinquante brasses de longueur sur cinq à six pieds de hauteur.

Chaque filet est chargé par le bas d'une pierre du poids de cinq livres, et dix livres de plomb.

Un appareil de pêche est composé de vingt-cinq à cinquante de ces filets ajustés bout à bout; au milieu et à chaque extrémité sont attachées trois autres pierres du poids ensemble de cent-cinquante livres.

Cet appareil est jeté à la mer à deux et trois lieues, plus ou moins, de distance de la terre, par dix ou douze brasses de profondeur, de maniere que sa partie supérieure est plongée de quarante ou cinquante pieds sous l'eau.

Cet appareil est jeté à la mer le jour, et levé le lendemain; si pendant cet intervalle la mer grossit assez pour empêcher les matelots d'en faire la levée, et les oblige de les abandonner pendant un, deux, ou trois jours de suite, ces filets sont, pendant ce temps, balottés, déplacés, roulés au fond de la mer, et quelquefois repliés, déchirés et transportés à plusieurs lieues de l'endroit où on les avait posés. Ce fait m'a été attesté par tous les pêcheurs et par plusieurs habitants, dignes de foi, du bourg de la Teste.

38. Les navigateurs les plus véridiques rapportent des faits qui ne laissent aucun doute sur l'action des vagues à de grandes profondeurs. M. de Bougainville, qui est éminemment de ce nombre, dit positivement (1) : « Nous courrions « nos bords à tâtons au milieu d'une mer semée « d'écueils, étant obligés de fermer les yeux sur « tous les indices de dangers. La nuit du 11 au « 12 septembre, sept ou huit de ces poissons qu'on « nomme Cornets, qui se tiennent toujours au « fond de la mer, furent jetés sur les passavants. « Il vint aussi sur le gaillard d'avant des sables « et des goemons de fond, que les vagues y dépo- « saient en le couvrant. »

(1) Voyage autour du monde, page .....

39. Le 10 juin 1788, en présence de MM. Descolins, inspecteur, et Géligny, ingénieur des ponts et chaussées, je fis poser, dans le moment de la basse-mer sur la berme intérieure de la jetée de Saint-Jean de Luz, cinq pierres indiquées par les chiffres 1, 2, 3, 4 et 5, et sur la berme extérieure opposée, trois autres pierres marquées 6, 7 et 8. La mer était assez belle; la hauteur perpendiculaire des plus fortes vagues, dans le milieu de la rade estimée à trois pieds ou trois pieds et demi.

Le cube de ces pierres était, savoir :

Le n° 1er	de	0 pieds	9 pouces	0 lig.
—— 2	de	1	1	0
—— 3	de	1	3	0
—— 4	de	1	6	0
—— 5	de	2	0	0
—— 6	de	3	2	0
—— 7	de	5	3	0
—— 8	de	8	0	0 (1).

A cinq heures de l'après-midi, le niveau vrai, jugé à un pied au-dessous de la surface de la berme, les pierres nos 1, 2, et 3 furent soulevées

(1) Le poids du pied cube de ces pierres peut être évalué de cent cinquante à cent soixante livres.

et roulées à plusieurs pieds de distance, et le n° 6 fut reculé de trois pouces.

A cinq heures cinq minutes trente secondes, les trois premiers numéros furent enlevés et jetés dans le chenal.

A cinq heures dix minutes, le n° 4 a été porté sur le n° 5, et ces deux pierres ont parcouru ensemble un espace de trois pieds.

A cinq heures douze minutes, le n° 6 fut enlevé.

A cinq heures quatorze minutes, le n° 7 avait marché de quelques pouces, et s'est trouvé appuyé contre le n° 8 qui fut lui-même ébranlé.

A cinq heures vingt minutes, les n°s 4 et 5 ont été roulés, balottés, et le n° 4 a été jeté à la mer.

A cinq heures vingt-cinq minutes, le n° 5 a eu le même sort, après une marche de cinquante-quatre pieds, à partir du point où il avait été placé.

A cinq heures cinquante-sept minutes, les n°s 7 et 8 ont marché ensemble sur une longueur de quinze à dix-huit pouces.

A cinq heures cinquante-huit minutes, le n° 7 fut retourné sens-devant-derriere, et ensuite posé en carreau, ensuite replacé en boutisse : à

cinquante-neuf minutes cette pierre, quoique fortement appuyée contre le n° 8, fut enlevée et jetée à la mer.

A six heures, le n° 8 n'avait encore marché que de deux pieds; à six heures six minutes, il était éloigné de neuf pouces du parement de la digue auquel il était contigu; et à six heures huit minutes, il fut enlevé comme tous les autres; on estimait alors le niveau vrai à un pied à-peu-près au-dessus de la surface de la berme sur laquelle il avait été posé.

40. Dans une mer très-profonde, au contraire, où les ondes peuvent, sans obstacle, suivre leur mouvement naturel, un bouchon de liége, une boule de cire, un morceau de bois, tout corps flottant sur les ondes, n'a de mouvement que de haut en bas ou de bas en haut; et s'il s'éloigne un peu de la verticale, ce n'est que pour un instant, il revient toujours à sa premiere position: ce léger dérangement dont il est facile de s'apercevoir, et dont il est aisé de rendre compte, est l'effet de la pesanteur de la partie hors de l'eau, du corps qui surnage, qui tend à descendre et qui descend effectivement par la loi de la gravitation; mais ce léger dérangement n'ôte rien à la vérité du principe.

Pl. 1. Je suppose que la marche apparente ou plutôt l'extension ou la propagation des vagues soit de E en A, l'onde CDE, descendant verticalement et en masse, fait soulever à-peu-près en pareil nombre les molécules qui composent la nouvelle onde ABC, le creux BCD, se remplit aussi, mais successivement. Le corps C s'éleve jusqu'à ce qu'il soit parvenu à la hautenr du point G: pour parvenir à ce point, il est obligé de parcourir le plan incliné CD; entraîné par son poids, il s'éloigne de la verticale GC, d'une distance *a b* d'autant plus grande, que la composition de la nouvelle onde est plus long-temps à se faire, et que la pente de ce plan est plus rapide. Lorsque la nouvelle onde s'abaisse, par la même raison, ce même corps descend en sens contraire, par un plan également incliné DE; il se rapproche de même de chacun des points correspondants de cette verticale qu'il avait abandonnée, et reprend absolument la même situation au point C : ainsi le plus grand éloignement de ce corps, de ce point, dont nous l'avons supposé partir, se trouve dans ce cas au sommet de l'onde, et en est à une distance *bc*, aussi d'autant plus grande que la vague emploie plus de temps dans son ascension, et que sa surface est plus inclinée.

41. Les molécules qui composent une onde, de quelque grosseur qu'elle soit, gardent toujours entre elles leur position respective, ou du moins on n'y remarque aucun déplacement sensible, jusqu'à une assez grande profondeur ; c'est-à-dire, qu'à mesure qu'une onde ou s'éleve ou s'abaisse, ces molécules conservent leur parallélisme ou leur position, par rapport à sa surface.

En effet, si l'on jette à la mer un corps *d*, dont la pesanteur spécifique ne soit qu'un peu plus grande que celle des eaux, il descendra d'autant plus lentement que la différence entre ces deux pesanteurs sera moindre, mais toujours verticalement, et n'éprouvera d'autre mouvement que celui que lui donnera l'excès de sa pesanteur sur celle de ces eaux, excès qui l'entraînera nécessairement vers le fond, et à cette seule différence près, il suivrait rigoureusement le mouvement des ondulations, et resterait à la même distance de leur surface. Ainsi, si ce corps est supposé à un pied au-dessous du sommet de l'onde, lorsqu'elle est à son plus haut degré d'élévation, il sera également à un pied lorsqu'elle sera descendue à sa moyenne ou à sa plus grande profondeur *f*, ou encore lorsqu'elle aura de nouveau repris sa premiere forme, plus, le chemin

que le poids de ce corps lui aura fait parcourir pendant le temps qu'elle aura mis dans sa révolution : d'où l'on peut conclure que toutes les molécules qui composent une de ces ondes, et qui sont absolument en équilibre parfait les unes avec les autres, montent et descendent aussi verticalement, et absolument en masse, sans éprouver aucune espece de dérangement par rapport à cette suface, ni par rapport à la verticale.

J'ai remarqué plusieurs fois cet effet à la pêche du thon ; on jette à la mer des petits poissons qu'on vient de tuer ou de mutiler exprès, de maniere qu'ils ne puissent se mouvoir d'aucune façon, au moyen de quelques gouttes d'huile, secouées avec une plume sur sa surface, on les voit, quelque agitée qu'elle soit, descendre très-lentement jusqu'à la profondeur de plus de vingt pieds, sans éprouver de la part des eaux aucune espece de mouvement, en parvenant à cette assez grande profondeur. Les pêcheurs emploient ce moyen pour connaître s'ils doivent lever leurs filets : s'il y a des thons dedans, on voit ces animaux courir sur ces petits poissons pour les manger : on juge alors que la levée des filets ne sera pas infructueuse.

Cette derniere assertion, que je crois cepen-

dant très-démontrée, et sur laquelle je n'ai aucun doute, aurait besoin peut-être d'être plus scrupuleusement examinée et plus particulièrement étudiée. J'ai cherché plusieurs fois, pour lever les incertitudes que quelques personnes pourraient avoir encore, et afin de nè rien laisser à desirer sur cet objet important, à faire diverses expériences ; j'aurais eu besoin que la partie de la mer dans laquelle j'étais lorsque j'ai voulu les faire, eût été moins sujette aux mouvements irréguliers et accidentels, c'est-à-dire, aux vagues de fond ; j'ai toujours à cet égard été contrarié par les circonstances : je ne fais ici cette observation qu'afin que quelque autre puisse répéter ces expériences si je n'en retrouve pas moi-même les occasions.

SECTION IV.

Expériences que j'ai faites moi-même et qui, conjointement avec les observations et les faits précités, m'ont servi de base pour établir ce nouveau systéme sur le mouvement des ondes.

42. Le 28 février 1807, l'eau de la Seine était élevée à près de sept metres (plus de vingt pieds) au-dessus de l'étiage, et refluant par l'orifice de l'égoût de la rue de Seine, qui se trouve presque

au bout de la rue des Marais, on remarquait, indépendamment de quelques ondes courtes, plusieurs autres especes de ces lames sourdes (art. 11) dont la durée de l'ascension était depuis dix jusqu'à vingt secondes, et dont par conséquent la durée de leur entier développement devait être de vingt à quarante secondes : le vent était nord, et soufflait avec violence.

La plus forte de ces lames n'avait gueres qu'un à deux pouces de hauteur au plus, et l'on doit observer qu'elles ne pouvaient être que la continuation de celles de la riviere, puisque cet égoût est voûté sur toute sa longueur, qu'on peut évaluer à trois cents metres (cent cinquante toises); que les eaux en fermaient l'issue, du moins à ce que je crois, parce que je la cherchai et ne la trouvai pas, et que l'impression directe du vent était nécessairement nulle sur cet assez long intervalle, puisqu'il ne pouvait s'introduire sous la voûte, ni par dessus, ni par ses deux extrémités. Au surplus, sous le guichet du Louvre, dans la rue Fromenteau; dans le ruisseau près le corps-de-garde du quai de l'Ecole; dans la place de Greve; dans la rue de la Mortellerie, etc., etc., ces grandes ondulations étaient également sensibles, et donnaient partout à-peu-près les mêmes résultats.

Toutes les eaux courantes dont la vîtesse est telle que celle des eaux de la Seine à Paris, lors des grandes crues, s'élevent à plusieurs centimetres au-dessus de leur niveau, quand leur cours est dirigé sur une cale.

Cet effet est très-remarquable sur les rampes au-dessous du quai Bonaparte, au-dessous du Pont-Royal ; après avoir monté à une certaine hauteur sur cette rampe, elles font cascade en retombant dans leur lit.

43. Si à l'une des extrémités d'un bassin de trente-deux metres (seize toises) de longueur, quatre pieds de profondeur (treize décimetres), sur six metres (trois toises) de largeur, on laisse tomber une pierre arrondie, de trois ou quatre centimetres (treize ou quatorze lignes) de diametre sur sa surface, les ondulations auxquelles elle aura donné lieu auront sans doute des bases très-étroites, et une hauteur en proportion ; ces ondulations mettront environ soixante secondes pour parvenir à l'autre extrémité. La vîtesse de leur propagation sera un peu moins de trois pieds, ou de cinq ou six décimetres par seconde.

Si le diametre de cette pierre est d'un décimetre (trois ou quatre pouces), les ondes qui sont plus grosses parcourront ce même espace dans un temps moins long.

44. Si enfin on laisse tomber de cette même hauteur une barique pleine d'eau, du poids de deux cent cinquante kilogrammes (cinq cents liv. poids de marc), elle produira des ondulations assez fortes pour parcourir ce même espace dans trente secondes, et la vîtesse des ondes dans ce dernier cas sera d'un metre (trois pieds) par seconde, tandis qu'elle n'est que de cinq décimetres (dix-huit pouces à-peu-près) dans le premier.

45. On peut déduire de ces expériences que la vîtesse des ondes est en raison de leur volume, et que cette vîtesse est d'autant plus considérable que le corps qui les produit est lui-même plus volumineux.

Nous ferons également voir par la suite que leur effet sur les corps contre lesquels elles viennent se briser, est aussi d'autant plus grand que leur masse est plus forte.

46. Les ondulations produites par la pierre de trois ou quatre décimetres de grosseur, quoique très-marquées sur la surface des eaux, et très-sensibles au coup-d'œil, ne s'élevent cependant gueres contre un piquet enfoncé perpendiculairement dans le bassin, à cinq metres (quinze pieds) de leur origine, qu'à un millimetre (au plus une demi-ligne) de hauteur au-dessus du niveau de cette surface ; ainsi dans notre supposition (art. 6)

ces petites ondes n'ont qu'une ligne (deux millimetres) de creux. Celles produites par la chûte de la barrique pleine contre une table posée verticalement à quinze metres (quarante-cinq pieds), s'élevent à la hauteur de trois centimetres (un pouce), et le creux de la vague se trouve, par la même raison, de deux pouces (vingt-six millimetres).

47. En plaçant à la même distance de quinze metres (quarante-cinq pieds) une deuxieme table d'un metre (trois pieds) de largeur, soit contigue ou isolée, inclinée de maniere qu'elle forme à la surface des eaux un angle de vingt-cinq à trente degrés, que son extrémité inférieure touche le fond du bassin, et son extrémité supérieure soit assez élevée au-dessus de l'eau pour ne pas être submergée ou surmontée par les vagues qui viennent frapper contre; ces vagues, qui n'ont que deux pouces de creux, ou qui ne montent que d'un pouce contre la premiere table établie sur la même ligne, à quelques décimetres de distance, s'élevent sur le plan incliné à une hauteur perpendiculaire de seize ou dix-huit centimetres (plus de six pouces) au-dessus du niveau naturel des eaux avant leur agitation, c'est-à-dire cinq fois plus haut qu'elles n'eussent fait, si ce plan incliné n'eût pas été opposé à leur rencontre.

En établissant la table sous un angle de quarante-cinq degrés au lieu de vingt-deux et demi, les eaux ne montent qu'à trois ou quatre pouces (1).

J'ai fait la premiere de ces expériences plusieurs fois, et je l'ai répétée aussi à plusieurs reprises à Moras (2), en présense de M. Thibault et de M. de Lille, marin très-exercé, et aussi recommandable par ses vertus morales que par ses connaissances profondes dans la mécanique et la physique, et ses résultats ont, à très-peu de différence près, été toujours les mêmes; elle doit nous servir beaucoup pour l'explication des irrégularités sans nombre que l'on remarque dans la hauteur des marées sur l'immense étendue de côtes baignées par l'Océan, et pour celle de la barre ou du mascaret dans les baies, les golfes et les rivieres sujettes au flux et reflux.

48. Nous ne devons point passer sous silence une remarque que nous avons faite dans le cours de toutes nos expériences.

(1) Le défaut d'eau dans ce bassin m'a empêché de répéter cette seconde expérience.

(2) Maison de campagne appartenant à l'auteur, située sur le bord de la Garonne, à douze mille metres au-dessus de Bordeaux.

Les petits comme les gros corps, jetés dans l'eau, donnent lieu à une principale ou premiere ondulation, qui, dans ce premier instant, est toujours la plus forte de toutes celles qui lui succedent, et auxquelles elle donne lieu elle-même. Mue dans le court espace de quelques secondes, si toutefois le volume de cette premiere lame n'est pas trop considérable, il se forme un systême ou une masse d'ondulations dont la premiere est toujours si faible qu'elle est à peine sensible; la deuxieme, plus forte que la premiere, est moins forte que la troisieme, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'enfin elles soient parvenues à celle du milieu, qui est toujours la plus forte de toutes celles qui composent ce systême: elles diminuent ensuite successivement de hauteur ou de force, jusqu'à ce qu'on cesse de les apercevoir.

49. Dans le bassin dont nous venons de donner les dimensions, à quinze metres de leur origine, les ondulations produites par la chûte de la barique ont déja formé ce systême, et à cette courte distance la maîtresse lame paraît être, du moins à ce qu'il m'a semblé, la septieme ou la huitieme; à trente metres, le nombre de ces lames paraît être à-peu-près le même. La trop petite étendue de ce bassin m'a empêché de pousser plus loin ces expériences, et d'en obte-

nir peut-être des résultats plus satisfaisants ; et je dois faire observer, si quelqu'un voulait les répéter, qu'il est très-nécessaire de choisir un temps calme, pour que la surface des eaux n'éprouve, s'il est possible, aucune espece de mouvement ; que le moindre vent ou retarderait ou accélérerait considérablement la marche de ces ondes ; que le fond du bassin et ses parois doivent être bien nettoyés des herbes et de tous les corps étrangers qui pourraient nuire à leur développement et empêcher de distinguer toutes les nuances de leur mouvement, nuances certainement très-essentielles, et qui ne peuvent être indifférentes aux yeux d'un bon observateur.

50. Les petites ondulations formées par la chûte d'un grain de plomb dans un baquet plein d'eau, ou dans un bassin plus grand, par celle d'un corps quelconque de la grosseur d'une barique, représentent en petit ce qui se passe dans l'immense étendue des mers, et les ondes de l'Océan ne marchent également que par groupes, dont les lames du milieu sont les plus élevées, et celles des extrémités doivent de même être les plus faibles.

En effet, lorsque l'air et la mer sont aussi calmes qu'on peut le supposer, il arrive assez souvent qu'on voit les ondes insensiblement s'ac-

croître, et qu'elles finissent quelquefois par devenir furieuses sans qu'on ait aperçu aucun changement dans l'atmosphere. Il n'est pas sans exemple que ce calme subsiste et que d'elle-même la fureur de la mer ne s'appaise. La grosseur, ou plutôt la profondeur des ondes, diminue insensiblement comme elle s'était accrue. Cette circonstance se rencontre dans le milieu des plus grandes mers, comme sur leurs bords, d'après du moins l'assurance que nous en ont donné plusieurs marins bons observateurs ; elle est, à la vérité, assez rare, car, le plus souvent, la tempête, cause primitive de ces grandes agitations, n'arrive qu'au moment où elles ne peuvent plus en quelque sorte s'accroître.

La multitude d'effets différents que l'on remarque dans le mouvement des ondes, ont chacun une cause qui leur est particuliere ou propre. Dans son apparence d'irrégularité, la marche de la nature est constante et uniforme, elle a ses lois et est invariable dans ses principes.

51. Deux courants en sens opposé forment, en se rencontrant, une éminence, dont la hauteur est plus ou moins grande, et la base plus ou moins large, suivant que ces courants sont plus ou moins rapides, ou que leur lit est plus ou

moins profond. Les effets qui résultent du choc de ces courants ne se retrouvent point lorsque les ondes en pleine mer ont la profondeur nécessaire à leur développement.

52. Les courants rapides des torrents, comme le cours le plus tranquille des rivieres, ne sont absolument que l'effet de la dénivellation des eaux qui tendent sans cesse au repos, et qu'elles ne peuvent trouver que quand elles sont parfaitement de niveau : cette proposition est si évidente qu'elle n'a pas besoin de démonstration.

53. La vîtesse naturelle avec laquelle les ondes se meuvent ou se propagent est d'autant plus retardée que les courants que ces ondes rencontrent sont plus ou moins rapides; et, réciproquement, cette vîtesse est plus ou moins accélérée si ces courants sont dans la même direction, d'où l'on peut déduire que si la vîtesse des ondes était de six metres par seconde, celle du courant diamétralement opposée, je suppose de trois ou de six, le chemin parcouru par ces ondes serait réduit à trois metres, dans le premier cas, et à zéro dans le second.

Cette assertion est appuyée par tous les faits. Si l'on jette un corps quelconque sur les eaux d'une cascade, l'ondulation ou le mouvement que

ces eaux éprouvent à leur surface ne se fait apercevoir qu'au-dessous du point de contact, et ne remonte pas, à moins toutefois, que la vîtesse du corps lancé ne soit plus grande que celle de la cascade; alors il y a éclaboussure.

54. J'ai toujours remarqué qu'au moment où un corps pesant frappait aussi brusquement qu'on peut le supposer la surface d'une eau tranquille, c'est-à-dire, sans que ce choc soit assez fort pour la faire rejaillir en éclaboussures, que les premieres ondulations auxquelles il donnait lieu avaient, dans ce premier instant, une hauteur plus qu'ordinaire, et que les ondes ne prenaient les hauteurs naturelles (1), c'est-à-dire, quatre de base sur un de hauteur, qu'à la troisieme ou quatrieme ondulation. Cet effet est sensible, la vîtesse de ce corps étant plus grande que celle de l'onde, l'onde n'a point eu le temps qui lui est nécessaire pour se composer ou se développer, sa base alors, autant que j'ai pu le remarquer, n'avait pas plus de trois ou de trois et demi, sur un de hauteur, au lieu qu'à la troisieme ou

(1) Quand dorénavant nous nous servirons de l'expression de *grosseur ou de hauteur naturelle d'une onde*, on doit entendre que sa longueur et sa hauteur sont dans le rapport de 4 à 1.

à la quatrieme ondulation, elle avait pris ses dimensions les plus naturelles, de quatre de base sur un de hauteur.

55. Nous devons observer que les vagues ne doivent rigoureusement conserver ces dimensions que pendant un moment; il semblerait que par leur tendance au repos, la premiere de ces dimensions devrait toujours augmenter, et la seconde toujours diminuer.

56. Il est sans doute très-possible que les ondes qui ont une très-grande longueur, n'aient jamais eu la hauteur à laquelle elles eussent pu parvenir. Les oscillations produites par les marées, celles formées par les tremblements de terre, etc., sont de ce nombre; mais une foule de voyageurs, de marins, sur les observations desquels on doit avoir quelque confiance, nous certifient que, par la seule intensité des vents (et dans ce moment je ne parle que de celles-ci), les vagues avaient quelquefois une hauteur de plus de vingt metres; ainsi une vague de cette hauteur devait avoir quatre-vingt metres de base.

57. Il semble qu'il devrait résulter de ce que nous avons dit dans quelques articles précédents, que connaissant la hauteur et la largeur d'une vague déja amortie, on pourrait aisément savoir la

grosseur naturelle qu'elle a eue ou pu avoir dans son origine (1).

58. Soit l'onde F G H, F H sa base, si des points F et H pris aux deux extrémités de cette base, on tire deux lignes FG, et GH au sommet G de l'onde, la perpendiculaire GI, abaissée par ce point, partagera cette onde en deux parties égales; les triangles G I F et G I H seront rectangles; la surface de chacun deux sera égale à la demi-section de cette même onde, et la surface du triangle isoscelle F G H sera évidemment égale à sa section entiere. Pl. III, fig. 1.

Ainsi le triangle A L I représentera également la moitié de celle d'une lame dont le milieu du creux serait en A et le sommet en L.

Nous avons supposé que le vide *a*, pourrait être égal au plein *b*; mais l'erreur, quand il y en aurait une, serait d'une trop faible conséquence pour faire altérer la vérité du principe.

59. Supposons encore que la base A I de ce triangle soit de cent-soixante metres et la hauteur de LI de cinq metres, sa surface sera de quatre cents metres. La surface de la section en-

(1) Nous ne nous dissimulons point que cette conséquence peut être susceptible de discussion, et nous ne la présentons ici que comme une présomption.

tiere de l'onde sera de huit cents metres, puisque celle de cé triangle n'est que la moitié de celle de cette section.

Pour parvenir à connaître qu'elle a été la plus grande hauteur de cette vague, il ne s'agit plus que de former un triangle de même surface, dont la hauteur et la base soient dans le rapport de un à quatre, et on trouvera que cette vague a dû, ou au moins, a pu avoir quatre-vingt metres de base sur vingt metres de hauteur.

60. Si la démonstration de la proposition que nous venons d'essayer de résoudre pouvait être appliquée à une lame unique, dont la révolution se fit sur une mer dont la surface serait tranquille ou bien de niveau, je suis particulièrement convaincu qu'on opposerait difficilement de justes raisons contre sa solution ; mais malheureusement une onde ne peut marcher seule, et les ondulations ne vont que par groupes. Les lames du milieu sont (art. 48) toujours les plus fortes et celles des extrémités les plus faibles. Les plus petites comme les moyennes, comme les plus grosses, paraissent appartenir au systême général, et toutes en particulier, dépendre réciproquement les unes des autres. Il est donc possible que celles qui précedent soient gênées ou dérangées dans leur mouvement par celles qui les suivent, et ne puissent

insensiblement s'amortir sans diminuer de masse, ainsi que nous l'avons supposé. Dans ce cas, chacune de ces lames conserverait à-peu-près sa longueur, et cette longueur n'augmenterait qu'en raison de celle que serait susceptible de prendre toute la masse du système.

Nous n'avons jamais perdu de vue, que lorsque les plages ou le lit de la mer descendent assez profondément et par des pentes rapides et uniformes, ces lames se succedent et parcourent à-peu-près dans le même temps des espaces aussi à-peu-près égaux, et ne suivent pas rigoureusement cette espece de loi à laquelle nous avons voulu quelquefois les asservir; mais on doit bien observer que ces lames ne sont pas l'effet d'un choc unique et brusque, tel que celui de la chûte d'un corps solide dont l'action cesse au moment même où il vient de tomber; mais celui, au contraire, de la force des vents et de la violence des tempêtes, dont la durée est le plus souvent de plusieurs heures, et quelquefois de plusieurs jours de suite, et qu'il est d'ailleurs très-vrai (art. 49) que ces vagues viennent se briser sur le rivage par groupes composés de treize, quatorze, quinze, seize lames et plus, dont celle du milieu est généralement la plus élevée. Il me semble, d'après cette observa-

tion, que quelques assertions que j'ai à cet égard mises précédemment en avant, ne sont pas précisément détruites. Si je connaissais une raison forte à leur opposer, je serais le premier à la mettre en évidence; mais dans tous les cas, il n'en serait pas moins vrai encore, qu'on trouverait quelle a pu être la plus grande élévation d'une vague, par le moyen que nous venons d'indiquer dans l'article précédent.

SECTION V.

Dans laquelle on essaie de donner l'explication de quelques phénomenes très-ordinaires dans le mouvement des ondes.

61. Nous n'avons généralement jusqu'ici considéré les ondes que dans une mer assez profonde et d'une étendue assez vaste pour que leur mouvement ne fût gêné par rien. Examinons-en maintenant les différents effets, lorsqu'elles trouvent de la résistance, ou quelque obstacle dans leur développement.

Ces effets désastreux se remarquent partout. Ces plages chargées de sables et de galets, ces déchirures et ces baies enfoncées à plusieurs lieues dans les terres, ces falaises coupées à pic, ces grottes profondes, ces cavités énormes que l'on

trouve sur ses bords, sont nécessairement l'ouvrage de cette mer en fureur. Les montagnes les plus hautes sapées par le pied, n'ayant plus de soutien, tombent sur ses rives, et leurs débris formant des masses énormes, disparaissent le plus souvent dans un assez court intervalle, et sont, si je puis me servir de cette expression, dévorées dans un instant par cet élément destructeur.

62. Continuellement froissées par le mouvement des galets, elles diminuent successivement de volume; les terres molles, les argilles, les craies, sont réduites en molécules impalpables, se combinent, ou du moins se trouvent dans un équilibre presque parfait avec le fluide qui les emporte, et dont elles ne peuvent se séparer que lorsqu'il cesse d'être agité, ou que lorsqu'il approche le plus du repos auquel il ne cesse de tendre.

Ce calme plus ou moins parfait, mais qui n'est jamais absolu, ne peut se trouver sans doute que dans les baies et les parties de la mer les mieux abritées, ou dans ses abîmes les plus profonds.

Les corps durs, au contraire, les pierres sont roulées, arrondies, atténuées sur ses bords.

Tels sont les moyens que la nature emploie pour renouveler la surface de la terre vieillie ou durcie

par le temps; de là ces couches de terres, d'argiles, de vases, ces bancs de galets et de graviers de toutes grosseurs et entremêlés de matieres diverses; de là enfin, ces immenses quantités de sables arrachés du rivage par les vents, et qui, transportés par eux au loin dans les terres, y forment ces collines, ces montagnes arides connues sous la domination de dunes. Les sels, susceptibles de se dissoudre, se combinent avec les eaux et ne les abandonnent plus; chacune des autres matieres, réduites en particules d'une finesse extrême et presque en équilibre avec elles, vont occuper, dans le lit de la mer, les diverses places que leur pesanteur spécifique leur assigne, et jusqu'à ce que l'agitation de ces eaux cesse d'être assez forte pour les mettre en mouvement, les rouler ou les tenir en suspension.

63. Abstraction faite des diverses circonstances qui peuvent et qui doivent nécessairement y apporter des changements, on doit admettre en principe général que ces dépôts se font par ordre successif, et que le volume ou le poids des matieres déposées est toujours en raison de la grosseur des ondes ou de la force des courants.

Ce qui arrive dans le vaste sein des mers se retrouve encore dans les lits des fleuves et dans

ceux des ruisseaux et des rivieres après les grandes crues. Les vases sont d'abord déposées dans les marais, dans les terres qui ont été submergées, mais où les courants ont été les moins rapides, puis les sables, les bancs de gravier, etc.

64. Les vagues éprouvent des obstacles de différents genres avant d'arriver sur la plage ou sur la côte. Tantôt le lit de la mer descend par une pente uniforme et douce, et tantôt par une pente plus ou moins rapide ou brusque; là, il se trouve des bancs de sables, des hauts et des bas-fonds; ici, il est plein d'aspérités et hérissé de roches.

La pente des terres voisines du rivage éprouve des variations non moins extraordinaires, et les rives, quelquefois absolument à pic, continuent d'être telles jusqu'à une profondeur qu'on n'a pu trouver ou mesurer, avec les sondes en usage sur les vaisseaux destinés à parcourir les mers inconnues (1).

(1) Voyez les Voyages autour du monde par MM. Bougainville, Cook, Biron, Wallis, Carteret, etc., tous hommes sur les observations desquels on peut absolument compter: M. Bougainville sur-tout dit positivement, page 140, ligne 12: « J'ai « sondé, en canot, au pied du cap élevé qui sépare les quatre « baies entre le cap Rond et le cap Forward (détroit de Ma- « gellan), et je n'y ai pas trouvé de fond, avec une ligne de « cent brasses. » On trouve de ces côtes acores sur la mer Rouge, dans la mer du Sud, les mers du Nord, etc., etc.

65. Nous avons dit plus haut (art. 35) que, par un temps calme et une mer superbe, il arrivait, dans quelques circonstances, que les eaux sur les bords de la mer rejaillissaient à plus de trente-six et quarante pieds (douze ou treize metres) au-dessus de leur niveau.

J'ai eu souvent l'occasion d'examiner ce phénomene dans les fréquents voyages que j'ai faits à Saint-Jean-de-Luz, lorsque la direction des travaux de ce port me fut confiée, et j'ai cru en avoir remarqué la cause.

Pl. III, fig. 2 et 3. Les roches FK et la jetée de Sainte-Barbe AB, sont à-peu-près élevées d'aplomb, et les lames viennent se briser contre.

Lorsque le pied de ce mur est de niveau avec la ligne de dénivellation BH, que la succession des plus fortes vagues est de sept en sept, et que la lame C est la cinquieme de cette série, la sixieme D sera plus forte que la cinquieme, et la septieme E plus forte encore que la sixieme.

L'instant de la plus grande dénivellation sera sans contredit celui où la lame E sera sur le point d'arriver contre la jetée AB.

Il est evident que le pied de ce mur se trouvera à-peu-près de niveau avec le creux des vagues CDE, et que la partie du lit de la mer au point B, sera découverte ou à sec.

Si l'on considere à présent que le mouvement de la lame C est ralenti par le retour de celle qui l'avait précédée, et par le frottement contre le fond qu'elle a à vaincre, que la lame D qui n'a pas autant d'obstacles à surmonter, a nécessairement une vîtesse plus grande; que le mouvement de la septieme, par les mêmes raisons, doit être lui-même accéléré et aussi plus considérable que celui de la sixieme, indiquée par les lignes ponctuées *e*E, *d*D, *c*C; que ces trois lames doivent, ou du moins, peuvent se réunir en une seule *c*, *d*, *e*, dont la partie supérieure *e* doit verser d'abord contre le mur AB à ce point *e*; qu'entre le mur, le sommet et la base de cette nouvelle vague, il se trouve un vide F dans lequel l'air est renfermé, on sentira facilement que cet air comprimé par la masse, le poids et la vîtesse des eaux, doit faire une explosion, et en enlever une partie d'autant plus grande que le volume de l'air comprimé sera plus considérable, et que l'épaisseur de la lame sera plus forte.

66. C'est principalement à cette compression de l'air éminemment élastique que nous devons, je crois, attribuer le phénomene de cette grande élévation des eaux au-dessus de leur niveau, car on ne voit pas qu'il soit possible d'expliquer au-

trement comment la seule vîtesse de ces eaux, à qui on ne suppose point d'élasticité, pourrait les faire monter à treize ou quatorze metres au-dessus du sommet des plus hautes lames. Il est bien démontré qu'un jet d'eau ne s'éleve jamais à la hauteur de la surface du réservoir dans lequel il a pris son origine.

67. Une autre circonstance concourt encore à élever les ondes à une très-grande hauteur. Nous avons dit (art. 19 et 20) que chaque point où les vagues venaient frapper, devenait le centre de nouvelles ondulations; ainsi, les lames LH se trouvant arrêtées en arrivant aux points L et I, forment à ces deux points de nouvelles lames qui, réfléchies de I en F et de L en F, coïncident quelquefois en même temps au point F avec les lames N*nn*, venant du large qui les avait précédées, et l'air encore plus chargé et plus comprimé doit faire une explosion sans doute beaucoup plus forte, et dans ce dernier cas j'ai vu à différentes reprises, au moment de la marée haute, les vagues briser à l'angle F que forment les roches de Sainte-Barbe avec l'origine de la jetée de ce nom, et les eaux s'élever à plus de quarante-cinq et cinquante pieds (seize à dix-huit metres) au-dessus de leur niveau, lorsque la mer était aussi belle que nous

pouvions le desirer pour n'être pas contrarié dans la conduite de nos ouvrages. Cet effet n'est pas très-rare ; mais pour cela il faut sans doute que toutes ces circonstances soient réunies, c'est-à-dire, que les deux obstacles FM et FK soient à-peu-près perpendiculaires à l'horizon, que le sol ou petit espace F, lorsque la lame se retire, soit à sec, que ce même sol aille en descendant de F en M et de F en K, que la lame qui précede et les nouvelles lames de réflexion dont l'origine se trouve au point L et au point I, arrivent toutes en même temps au point F.

CHAPITRE III.

APPLICATION DES EXPÉRIENCES ET DES FAITS PRÉCITÉS A DIVERS PHÉNOMENES QUI SONT L'EFFET DU MOUVEMENT DES EAUX.

PREMIERE SECTION.

Du Mascaret, et des diverses circonstances nécessaires à son existence et qui peuvent augmenter ou diminuer son activité.

AVANT de chercher à démontrer comment se forme le mascaret, nous ne pouvons nous dispenser de dire un mot de quelques-unes des rivieres dans lesquelles ce phénomene a lieu. La Seine et la Dordogne sont les deux rivieres de France dans lesquelles le mascaret se fait sentir avec le plus de violence.

68. Ces degrés d'activité ou de force dépendent de diverses circonstances.

1° De l'élévation des marées sur la côte à l'embouchure du fleuve.

2° De la largeur de cette embouchure.

3° De la diminution successive de cette largeur.

4° De la régularité des pentes, du peu de vîtesse des eaux extérieures à marée basse, depuis la mer jusqu'au point où il doit arriver.

5° D'une distance convenable entre ces deux intervalles.

6° Enfin toutes les fois que les courants du descendant deviennent trop rapides par les crues, non-seulement ce phénomene cesse, mais les courants, même du montant, ne s'établissent plus; seulement, la vîtesse des courants du descendant perd de son activité (art. 53).

L'expérience prouve que ces circonstances se trouvent réunies dans les rivieres de Seine et de Dordogne, sur lesquelles le mascaret se fait plus particulièrement et plus vivement ressentir.

Le mascaret était, il n'y a pas encore trente années, assez fort dans la Garonne, à trois lieues au-dessus de Bordeaux, pour renverser ou remplir un canot échoué sur des bancs de sable à marée basse, et faisait assez de bruit pour se faire entendre à une demi-lieue de distance. Des atterrissements ayant opéré des changements dans le lit et dans le cours de cette riviere, à peine en ce moment peut-on en apercevoir le mouvement.

69. La distance de Royan à Bordeaux, en sui-

vant les contours de la riviere, est de quatre-vingt-seize mille metres.

Lors des pleines et nouvelles lunes, le flot commence à se faire apercevoir dans le port de cette premiere ville, entre onze heures et midi, et il arrive dans celui de Bordeaux entre deux et trois heures.

Il met ordinairement trois heures et demie, un peu plus ou un peu moins, pour parcourir cet assez long intervalle.

Cette différence provient du plus ou moins de vîtesse dans les courants de descendant, de la direction et de l'intensité des vents qui en accélerent ou en retardent la marche : sa vîtesse moyenne est, par conséquent, d'environ sept metres soixante-cinq centimetres par seconde.

70. La marée ne commence à descendre à Royan qu'entre cinq et six heures, et la fin du montant à Bordeaux est entre six et sept heures; il n'y a donc tout au plus qu'une heure et demie de différence entre le commencement du descendant à Royan, et le commencement du descendant à Bordeaux.

Ainsi la vîtesse du jusant serait plus que le double de celle du flot, ou au moins de quinze ou seize metres par seconde, ce qui serait absurde;

la navigation sur la Gironde ou la Garonne serait alors impraticable, et le vaisseau qui serait le mieux fait pour la marche, ou le meilleur voilier, par le vent le plus fort et le plus favorable, au lieu d'avancer ou de faire environ deux lieues par heure en refoulant ces courants, ce qui arrive assez ordinairement, ferait au contraire une marche rétrograde de plus de quatre.

71. Ainsi, abstraction faite des courants établis par les eaux supérieures d'une riviere et de ceux qui sont occasionnés par l'excès des eaux des marées montantes, ces gonflements et ces dépressions périodiques sont nécessairement l'effet d'une autre cause, et cette cause n'est autre chose que ce mouvement vertical d'ascension et de dépression de toutes les ondes.

Enfin, abstraction faite de toutes les causes étrangeres qui peuvent contribuer au mouvement d'un vaisseau, il serait stationnaire sur le milieu d'un fleuve, comme il l'est sur la mer en temps calme, ou (art. 40) comme le bouchon de liege sur les ondes; d'où nous pouvons conclure que le flux et le reflux n'est autre chose qu'une énorme lame, dont la révolution ou le développement serait à-peu-près de douze heures.

72. Soit à Bordeaux, soit à Royan, les marées

des syzygies montent de quatre metres et demi à cinq metres et demi, donc la hauteur moyenne est de cinq metres. Cette circonstance paraît généralement d'autant plus singuliere que la pente va toujours en montant depuis la mer jusqu'à Bordeaux. En effet, à marée basse, la vîtesse des courants est considérable, puisque d'après diverses expériences, un corps flottant dans les principaux chenaux, fait trois mille metres par heure ou quatre-vingt centimetres (deux pieds et demi) par seconde, et que dans plusieurs parties de cette riviere, à son embouchure sur-tout, entre la pointe de Grave et Royan, cette vîtesse est encore plus forte, et nous ne croyons pas que sur quatre-vingt-seize mille metres de longueur, cette pente puisse être évaluée à moins de cinq metres : d'où il résulte évidemment que les marées s'élevent à Bordeaux à dix metres au-dessus des basses eaux de la mer, ce qui, aux yeux de beaucoup de personnes, paraît un paradoxe, et contraire à tous les principes.

73. On se convaincra cependant facilement de cette vérité, si l'on veut admettre que la grande oscillation des marées n'est qu'une très-grosse et immense lame, qui n'a ni largeur pour s'étendre, ni profondeur pour son développement ; qui

éprouve de continuelles réactions de la part du fond de la riviere, des bords de son lit et des courants des eaux supérieures; comme les vagues les plus ordinaires se gonflent par les obstacles (art. 47) ou s'élevent sur les plages (art. 35), beaucoup au-dessus de leur niveau.

74. C'est à ces mêmes causes sans doute qu'on doit attribuer ce désordre apparent et cette irrégularité dans les heures et dans la hauteur des marées, qu'on remarque dans toutes les mers sujettes au flux et au reflux, qui communiquent immédiatement avec l'Océan.

On devrait trouver encore plus extraordinaire sans doute que la hauteur des marées, au hâvre de Poole, à Weymouth, au Raz de Portland et dans les environs d'Exmouth, ne soit que de huit et dix pieds, tandis que dans la même mer, à vingt-cinq ou dix-huit lieues de distance, à l'île d'Aurigny, elle est de trente pieds, et un peu plus loin de quarante pieds, et même quarante-cinq, près les îles de Guernesey, Jersey et les environs du cap Frechel. On se rendrait compte indubitablement de toutes ces différences, si on avait une carte soumarine exacte de la situation des roches, des bancs de sables et de toutes les inégalités dont le fond de la mer doit être parsemé.

75. Les phénomenes du flux et du reflux ne sont donc que l'effet d'une immense lame sourde sur laquelle s'établissent toutes les autres ondes, grosses et petites, et les agitations de tout genre que l'on remarque sur la surface de la mer.

76. On a vu (article 45) que chacune de ces lames devait avoir une durée proportionnée à ses dimensions; que le mouvement de l'une (art. 18) était indépendant de celui de l'autre; qu'elles avaient toutes la faculté de s'étendre, de se mouvoir, de divaguer, de se traverser dans tous les sens sans éprouver de dérangement que celui qui peut être le résultat de quelques causes absolument étrangeres, comme d'être rencontrées par un corps solide quelconque, ou de n'avoir point assez d'espace, soit en profondeur, soit en largeur pour leur développement.

Nous devons ajouter, que nous rangeons au nombre de ces causes étrangeres le choc de deux de ces lames mêmes, dont le mouvement, ou de l'une ou de toutes les deux ensemble, serait devenu l'effet de deux forces agissantes en sens différent. Telles sont encore, par exemple, les vagues qui se rencontrent sur la plage, ou les courants dans les rivieres qui se réuniraient dans un sens ou oblique, ou diamétralement opposé.

Il est évident que chacune des lames qui composent ces vagues ou ces courants sont mues par deux forces, l'une qui agit dans le sens vertical, et l'autre dans le sens horizontal, et que, dans ce cas, l'équilibre que nous avons supposé devoir exister dans les ondes dont le mouvement serait purement vertical, serait absolument rompu. Nous avons cru devoir rappeler préliminairement ici ces notions déja développées dans plusieurs articles de ce petit ouvrage; elles nous ont paru essentielles pour l'explication du phénomene que nous allons donner.

77. Ce phénomene présente plusieurs principales questions, que nous allons essayer de résoudre.

1° Comment se fait-il que les eaux ne s'élevant sur le bord de la mer, pendant le commencement et pendant tout le cours d'une marée, par couches ou lames en quelque sorte insensibles, que cette premiere lame dans les fleuves ou les rivieres puisse acquérir une hauteur de plusieurs décimetres, et qu'elle devienne quelquefois assez forte pour jeter sur le côté, ou renverser un navire d'une certaine force, et produire les autres effets désastreux, traités art. 36 et 37?

2° Comment cette premiere lame est-elle tou-

jours suivie de plusieurs autres, et pourquoi la deuxieme est-elle moins forte que la premiere, plus forte que la troisieme, et cette troisieme plus forte que celle qui lui succede?

3° Pourquoi ces diverses lames agissent-elles quelquefois avec assez de violence sur les bords, quand à peine on peut les apercevoir au milieu du fleuve?

4° Pourquoi, le plus souvent même le courant est-il établi sur ces bords assez long-temps avant qu'il soit déterminé ou sensible dans ce milieu?

5° Comment est-il possible enfin que les marées ne s'élevent qu'à la hauteur de cinq metres sur les bords de la mer, à Royan, et qu'elles montent également de cinq metres à Bordeaux, tandis que, d'après notre supposition (article 72), la pente entre cette ville et Royan, est au moins de cinq metres; c'est-à-dire, comment se peut-il faire que les eaux de ces marées ne s'élevent qu'à la hauteur de cinq metres au-dessus du niveau des basses eaux, sur le bord de la mer, et qu'elles montent de dix, à Bordeaux, au-dessus de ce même niveau?

Résolution de la premiere question.

Pl. III, fig. 4. 78. Soit AB l'embouchure dans la mer d'un grand fleuve, tel que la Seine, la Dordogne, ou

la Gironde, et le commencement du montant à une heure quelconque ; en supposant que les marées s'élevent à la hauteur de six metres dans un intervalle de six heures, il est évident que les eaux s'éleveront d'un metre réduit dans une heure, ou de quinze millimetres par minute : ainsi, dans l'intervalle de la premiere minute, les eaux sur la ligne AB auront acquis une hauteur de quinze millimetres; dans la deuxieme minute, quinze millimetres de plus; dans la troisieme, quinze autres millimetres, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elles soient parvenues à la hauteur de trois metres en trois heures, ou de six metres dans six heures; point qui, d'après notre supposition, est le *nec plus ultra* de leur élévation sur le bord de la mer.

Il est de fait (art. 69) que la marée, dans la Gironde, depuis Royan, met trois heures pour se rendre dans les environs de Libourne ou de Bordeaux; qu'elle a dû s'élever successivement pendant ce temps par petites lames ou couches de quinze millimetres réduits d'épaisseur par minute, et par conséquent de trois metres, ou neuf pieds, sur les bords de la mer.

Il est de fait encore que les courants du descendant, suivant qu'ils sont plus ou moins ra-

pides, retardent plus ou moins la marche ou le développement de cette premiere petite lame; que la deuxieme qui la suit, ayant moins de difficultés à vaincre, doit acquérir plus de vîtesse et parcourir en moins de temps l'espace déja parcouru par la premiere, avec laquelle elle se trouvera nécessairement bientôt réunie; que, par la même raison, chacune des lames qui suivent, acquérant un degré de vîtesse de plus que celles qui les précédent, elles finissent toutes par se réunir au même point, et que s'il a fallu trois heures à la marée pour remonter contre les courants et parcourir l'espace de Royan à Saint-Pardon, qui est d'environ quatre-vingt mille metres, et que la vîtesse de ces dernieres petites lames soit supposée le double de la vîtesse réduite de toutes les autres, elles arriveront à ce dernier point dans le même moment que toutes celles qui les ont précédées, et qu'enfin toutes ces petites lames réunies, abstraction faite de diverses causes qui (art. 68) peuvent en déranger, en atténuer la marche ou l'accélérer, doivent nécessairement former une grosse lame, et c'est à cette grosse lame à laquelle on a donné (art. 14) les divers noms de flot, de premiere vague, de barre et de mascaret.

Nous avons parlé (art. 68) de quelques circonstances qui pouvaient apporter des changements dans ce résultat.

Le rétrécissement égal et progressif du lit d'une riviere, le cours tranquille des eaux, un fond uni et de niveau, ou s'élevant par une pente presque insensible, sans lacunes, sans cavités ou sans déchirures dans ses bords, sur une grande longueur, ou du moins, sur une longueur suffisante, la rencontre précisément au point où toutes les petites lames accumulées auraient pu se réunir en plus grand nombre, d'un banc à-peu-près ou tout-à-fait sec à sa superficie et dont les talus, sans être trop brusques ou trop prolongés, descendraient par une pente uniforme jusqu'à la profondeur de ce lit, pourraient, sans contredit, quelquefois quadrupler la hauteur de la lame, qui, d'après le calcul que nous venons d'en faire, ne devrait naturellement s'élever qu'à quelques décimetres ou quelques pieds.

C'est à ces circonstances plus ou moins réunies, que, dans les grandes rivieres, dans les golfes et dans la mer même, on doit ces grandes différences dans la hauteur des marées; et cette hauteur, qui, quelquefois, est presque nulle entre les tropiques, ou sur quelques îles de la

mer du sud, tandis qu'elle est de trois ou quatre metres sur quelques parties des côtes du Portugal ou d'Espagne, et s'éleve jusqu'à quinze dans les environs de Saint-Malo, sur celles de France.

Si on examine les effets du mascaret avec une certaine attention, on trouvera qu'ils ne sont que celui (art. 47) d'une grosse lame, qui, ne trouvant plus la profondeur nécessaire à son développement et qui éprouvant un changement subit de mouvement, par la réaction, brise sur les roches et sur les plages, souvent avec un fracas horrible, et s'y éleve à une hauteur d'autant plus grande au-dessus de son niveau, que son épaisseur et sa longueur sont plus considérables.

Résolution de la deuxieme question.

79. La grosse vague dite le mascaret est nécessairement toujours plus forte que celles qui succedent, parce que toutes les petites lames dont elle est formée et qui successivement viennent augmenter son volume, ne peuvent (article 18) être dérangées dans leur marche ou leur mouvement que par des causes en quelque sorte étrangeres; qu'elles doivent monter, descendre et subir toutes les inflexions et ondulations de ces dernieres vagues sur lesquelles elles sont établies,

parce qu'encore ces mêmes vagues qui accompagnent toujours celle du mascaret, lui doivent essentiellement son origine, et ne sont qu'une suite de sa dépression ; de même que toutes les ondulations concentriques sont engendrées par la chûte d'un corps pesant quelconque jeté sur la surface d'un bassin dont nous avons supposé que les eaux étaient tranquilles.

Toutes ces grosses ondulations doivent donc, par cette seule raison, aller successivement en décroissant, et les dernieres être constamment plus faibles que celles dont elles tirent leur origine.

On doit obserser que ces grosses lames n'ont qu'un mouvement de courte durée ; qu'elles sont nécessairement précédées par celle du mascaret, qui est toujours la plus forte, et dont la vitesse est toujours plus grande; que les courants de la marée montante qui s'établissent en arriere et se fortifient assez en peu de temps, sinon, pour les faire tout-à-fait disparaître, du moins pour que leur mouvement ne puisse être sensible qu'aux yeux de ceux qui les observent avec une certaine attention; car long-temps après que les courants du montant sont établis, on remarque encore de faibles mais longues ondulations dont ces pre-

mieres lames sont indubitablement la principale cause

Résolution de la troisieme question.

80. Nous avons vu (art. 32) qu'une lame d'une certaine longueur ne brise sur les plages que parce qu'elle n'y trouve plus l'espace nécessaire à son développement; que le mouvement de réaction du fond, quand elle le rencontre, la fait gonfler et l'éleve au-dessus de son niveau; que tout obstacle, quel qu'il soit, donne lieu à ce dérangement; que ce dérangement est plus ou moins sensible, suivant que les plages ont plus ou moins d'inclinaison.

Quelque faible que soit la lame du mascaret, ne fût-elle que de quelques centimetres d'épaisseur, et à-peu-près insensible sur le milieu d'une riviere, elle doit donc se gonfler avec une certaine force sur les bords, et même y briser assez sensiblement lorsqu'elle parvient à la partie du rivage sur laquelle elle doit finir son développement.

Résolution de la quatrieme question.

81. Cette question n'est gueres qu'un corollaire de celles que nous venons de traiter dans les trois articles précédents.

Si les courants des eaux qui descendent ont plus d'activité que celui du reflux, ils retardent la marche de ces derniers en raison de leur volume; et ce volume est d'autant plus considérable, que ces eaux sont plus profondes; et cette plus grande profondeur est le plus souvent au milieu de leur lit. Il faut donc un temps moral pour que les courants du montant puissent s'établir.

Il résulte de cette opposition réciproque un gonflement dans la partie du fleuve où cette masse est la plus forte. Alors les eaux se répandent nécessairement vers les bords, où en même temps elles doivent, ainsi que nous venons de le dire, s'élever en arrivant sur le rivage sur lequel elles n'éprouvent que la résistance morte du fond ou du sol sur lequel le courant enfin s'établit.

Nous avons déja dit ou dû dire que dans les soubermes, c'est-à-dire, lorsque les courants du descendant étaient trop forts, ceux du montant ne s'établissaient point, et que l'activité des premiers ne faisait que diminuer. En effet, il árrive dans ce cas que les courants du montant qui sont généralement très-violents dans le port de Bordeaux, y deviennent quelquefois non-seulement nuls, mais même que ceux du descendant y conservent, surtout dans la partie la plus profonde du fleuve,

une vîtesse de plusieurs décimetres par seconde, lors même que la marée est parvenue à sa plus grande hauteur.

Résolution de la cinquieme question.

82. Si la profondeur d'une riviere ou plutôt d'un vaste bassin dont les eaux seraient stagnantes et les bords coupés d'aplomb, était telle que la longue et énorme lame du reflux pût s'y développer sans obstacle, il est bien certain que, abstraction faite du frottement que les eaux éprouveraient contre les parois de ces bords et du léger retardement que la marche de cette grande ondulation pourrait éprouver par cette cause, elle parviendrait à une distance aussi grande dans ce canal, qu'elle pourrait le faire dans un bras de mer assez profond et d'une longueur indéfinie; c'est-à-dire, que dans l'intervalle d'à-peu-près six heures, elle parcourrait un espace immense en s'élevant successivement par gradation et par un mouvement vertical simple, ainsi que toutes les autres ondes, grosses ou petites, que l'on remarque dans le milieu des mers profondes, qu'elle reviendrait de même successivement en six autres heures dans son premier état, et qu'alors il n'y aurait pas de mascaret.

Si, au contraire, le fond de ce même canal s'élevait par une pente quelconque, il est évident qu'aussitôt que ce mouvement vertical cesserait d'être libre, et que les eaux réfléchies par le fond se souleveraient à leur surface, ce qui ne peut, je crois, arriver sans s'élever au-dessus de leur niveau naturel, il est certain que dès cet instant elles seraient arrêtées dans leur marche ; qu'il s'établirait un courant ; que ce courant serait fortifié par toutes les couches qui, venant de la mer, finiraient par l'atteindre ; qu'elles formeraient une barre ou mascaret plus ou moins fort, suivant qu'elles seraient réunies en plus grand nombre ; et que le reflux enfin s'étendrait plus ou moins loin, suivant que la pente de ce canal serait plus ou moins rapide.

Mais (art. 47, etc.) toutes les expériences prouvent que les lames arrêtées sur les plages s'y développent et s'y élevent d'autant plus au-dessus de leur niveau naturel, que leur hauteur et leur longueur sont plus considérables ; or, ce déplacement doit être, sans aucun doute, très-extraordinaire dans une lame dont la durée de l'ascension et de la dépression est chacune de plus de six heures.

83. Je ne peux trop le répéter, les grandes

lames des marées ne sont que l'effet de l'attraction des corps célestes sur la surface de l'Océan; comme les petites ondulations dans un baquet plein d'eau sous celui d'un grain de sable ou de froment jeté sur sa surface; leur mouvement d'oscillation et leur développement sont absolument les mêmes, et il n'y a d'autre différence entre elles que dans l'immensité de l'une et l'extrême petitesse de l'autre.

Les marées (art. 72) non-seulement s'élevent dans le port de Bordeaux, à la hauteur de cinq metres; mais elles se font ressentir encore quelquefois jusqu'à un myriametre au-dessous de la Réole, c'est-à-dire, en suivant toutes les sinuosités de la riviere, à soixante-douze mille metres environ au-dessus de Bordeaux. Nous ne croyons pas, relativement à la vîtesse des courants et à diverses parties maigres qui se trouvent à Poudensac, à Langon, à Saint-Macaire, etc., qui forment des especes de chûtes ou cataractes, qu'on puisse évaluer la pente du lit de cette riviere entre ces deux villes, à moins du double de celle de Bordeaux à Royan; c'est-à-dire que les marées, lorsqu'elles se font ressensentir à la Réole, s'élevent à vingt metres (soixante pieds) au-dessus du niveau des basses eaux de la mer.

Mais ce qu'il est d'ailleurs très-aisé de vérifier, quand je me serais trompé de la moitié sur l'inclinaison que j'ai supposée au lit de la Garonne, il n'en serait pas moins vrai que les marées s'éleveraient de deux metres et demi (sept à huit pieds) au moins à Bordeaux, et de dix metres (trente pieds) plus haut, à la Réole, que sur les bords de la mer, et que cette erreur, quand elle existerait, ne détruirait nullement notre assertion.

Il est très-possible que nous en ayons commis quelques-unes, et que plusieurs des explications que nous avons données ne soient pas aussi claires qu'on aurait pu le desirer; mais dans une matiere, j'ose dire, aussi abstraite, et que je crois toute neuve, il se trouve une foule de choses que l'on sent beaucoup mieux qu'on ne peut les exprimer.

SECTION II.

Sur l'inégalité dans la longueur, la hauteur ou la profondeur des vagues, et sur l'accroissement et le décroissement successif ou périodique de ces lames.

84. Nous avons précédemment annoncé que nous tâcherions d'expliquer comment dans la succession des vagues qui viennent se briser continuel-

lement sur la plage, ou qui se trouvent dans le milieu des mers les plus profondes, il pouvait se faire que la septieme fût quelquefois la plus forte.

Pl. I, fig. 3. Soit les deux lames ABC et CDE, que nous avons désignées (art. 9) sous le nom de lames sourdes, sur lesquelles sept ondes plus petites, 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7, à-peu-près d'égales dimensions, se soient établies.

Nous avons prouvé par les expériences (art. 43 et 44) que plus la base d'une vague est longue, plus elle met de temps à faire sa révolution ; la durée, par exemple, des grandes ondulations des marées est à-peu-près de douze heures, et celle des petites ondulations des bassins peuvent n'être que de quelques tierces et moins encore.

Il est prouvé (article 22) que plusieurs lames peuvent se traverser ou s'établir les unes au-dessus des autres sans se déranger dans leur marche, ou sans que le mouvement qui leur est particulier éprouve d'altération.

La lame sourde ABC peut être telle, qu'elle ait besoin de quarante-neuf secondes pour son développement, et que celui des ondes supérieures n'en exige que sept. Il est très-certain alors que la vague qui se trouve sur le milieu de la lame sourde ABC, et que je suppose de six pieds de

hauteur (deux metres) comme les six autres, doit avoir une hauteur *a b*, de trois pieds (un metre) de plus que celle sur laquelle elle s'est établie; si on suppose que la hauteur de cette lame sourde soit elle-même de six pieds, les vagues trois et cinq seront moins élevées que les deux autres 2 et 6, et celles-ci plus hautes que celles du fond dont le creux sera de trois pieds (un metre) plus bas que celui des deux longues lames. Dans ce cas, ceux qui navigueraient sur deux chaloupes ou bateaux de moyenne grandeur, se perdraient nécessairement de vue, si ces deux bateaux se trouvaient en même temps, l'un dans le creux C formé par les deux petites lames 7 et 8, et l'autre dans le milieu A de celui également formé par les deux petites lames 1 et o. Il est évident que l'observateur, dont l'œil au point I de niveau avec le sommet de la vague 1, c'est-à-dire à six pieds (deux metres) au-dessus du creux de cette premiere vague, n'apercevrait pas même le sommet du mât de la barque placée en C, si ce mât ne s'élevait pas au-dessus du point H, puisque le rayon visuel serait nécessairement coupé ou interrompu par les sommets des vagues 2, 3 et 4, et que réciproquement il en serait de même à l'égard de

l'observateur placé dans le creux C des lames 7 et 8.

85. C'est par cette même raison encore que celui qui n'a jamais observé ce fait, ou qui en est témoin pour la premiere fois, croit que le bâtiment qu'il voit disparaître est enseveli sous les flots, et qu'il se trouve lui-même obligé, quoiqu'à une certaine distance du bord de la mer, de fuir très-précipitamment pour ne pas courir le risque d'être ou mouillé ou même quelquefois emporté par cette soi-disant septieme vague qui vient se déployer sur la plage, quand il s'en croyait parfaitement à l'abri.

86. On peut conclure de ce que nous venons de dire, que si une lame sourde ne pouvait recevoir, ainsi que je l'ai remarqué très-souvent, que cinq ou six de ces petites lames sur sa superficie, la plus forte de ces lames ne se trouverait plus alors que la cinquieme ou la sixieme, et que si la longueur des petites lames restant la même, celle des grosses lames sourdes devenait plus considérable, la plus forte de ces petites lames pourrait n'être que la huitieme, la neuvieme, etc., comme dans l'immense lame sourde des marées, elle ne serait que la quatre ou cinq millieme, en supposant (ce qui arrive d'ailleurs assez souvent)

que la durée de chacune de ces petites lames fût de neuf à dix secondes.

87. On doit observer que le retour périodique de ces grosses lames (surtout aux abords de bien des côtes) n'est pas aussi régulier ni aussi égal que plusieurs marins voudraient le faire croire ; mais il est cependant très-possible qu'il éprouve moins d'irrégularités dans les hautes mers où il ne peut être ni accéléré ni retardé par les bancs, les roches, les inégalités des hauts fonds. J'ai d'autant plus lieu de le présumer, que dans une foule d'observations que j'ai faites sur ce phénomene, j'ai toujours remarqué que ces diverses périodes étaient plus ou moins régulieres, suivant que l'atmosphere était plus ou moins tranquille, la mer plus ou moins houleuse, que les pentes de son lit avaient plus ou moins de rapidité, et que cette variation dans le retour périodique des lames pouvait être l'effet de ces circonstances.

88. Mais des faits incontestables, puisqu'ils sont le résultat de l'expérience, c'est que les ondulations, ainsi que nous l'avons observé (articles 48 et 49), semblent constamment suivre cette espece de loi et ne s'en éloigner que par accident.

En effet, soit que les corps jetés sur la surface des eaux n'aient pas plus de pesanteur ni de vo-

lume qu'un grain de sable, ou qu'ils soient de la grosseur d'une barrique, ils forment un systême composé de plusieurs lames concentriques, dont celles du milieu sont les plus fortes.

89. Il est également vrai,

1° Que ces lames plus ou moins grosses s'éloignent toujours toutes et sans discontinuité du point où elles ont pris leur origine, à moins qu'elles ne soient arrêtées ou réfléchies par quelque obstacle;

2° Que le calme se rétablit assez vîte à ce point, tandis qu'en s'éloignant, ces ondulations conservent assez long-temps leur activité et leur force, que le nombre de ces lames est plus grand ou plus petit, suivant que ces corps sont plus ou moins gros, et que la longueur et la vîtesse de ces lames augmentaient ou diminuaient par les mêmes causes;

90. 3° Que la premiere et la derniere des lames qui composent ce systême, après avoir parcouru un certain espace, sont toujours les plus faibles, que successivement elles grossissent jusques à celles du milieu du groupe qui sont toujours les plus fortes.

Et enfin que la septieme ou la huitieme lame du systême d'ondulations produites par la chûte

d'une barrique, sont celles qui s'élevent à la plus grande hauteur, soit sur le plan incliné, soit sur le plan vertical que nous lui avons supposé (art. 47).

Nous devons observer encore que ces expériences, attendu le peu d'étendue du bassin dans lequel j'ai pu les faire, doivent être répétées pendant un temps calme, dans un bassin très-vaste dont les eaux soient stagnantes ou leur surface sans mouvement, et qu'on ne ferait que des essais peu satisfaisants, si toutes ces circonstances n'étaient pas réunies.

CHAPITRE IV.

APPLICATION DE CETTE THÉORIE AUX TRAVAUX MARITIMES.

91. D'APRÈS les expériences et faits précités (art. 40 et 41), si d'un point fixe pris (d'un vaisseau ou d'une chaloupe à l'ancre) sur la surface de la mer lorsqu'elle est houleuse, mais où cependant les lames pussent se développer sans réaction de la part du fond, on suspendait à un fil un bâton d'une longueur quelconque et assez pesant pour rester debout dans le milieu des eaux, où ce qui vaudrait mieux, qu'il fût possible, sinon de le planter, au moins de le tenir en équilibre sur ce fond, dans une position verticale, il est bien certain qu'il n'aurait d'autre effort à soutenir que celui du contact de la pression et du frottement de l'eau, quand elle s'éleve ou quand elle s'abaisse, et qu'aucun autre mouvement ne peut lui être imprimé que par les courants, dont à la vérité il n'y a peut-être aucune partie de la mer d'exempte.

Pl. IV, fig. 1 et 2. 92. Si à ce piquet on substituait un mur FH

élevé d'aplomb jusqu'au-dessus du sommet des plus hautes ondes, toute la partie IE de ce mur qui se trouverait au-dessus du creux de ces vagues, et qui par cette raison serait toujours sous l'eau, n'éprouverait, comme le jalon d'autre choc, que celui de ce même frottement de la part de ces lames, puisque leur mouvement est nécessairement vertical, et il est évident que la seule partie AB de ce mur n'aurait plus à supporter que le poids de la portion ABD de la lame KAD, qui s'appuie contre; mais l'action de ce poids contre ce mur ne peut être que celle d'un pareil volume d'eau sans agitation contre les parois du vase dans lequel il serait renfermé.

On ne doit jamais perdre de vue,

1° Que la lame OP arrive successivement contre le mur FH, que son mouvement (art. 40) est purement vertical, et qu'il n'y a aucune raison pour qu'elle y acquiere une plus grande hauteur que celle qu'elle avait précédemment.

2° Que par la propriété des liquides (art. 22) les divers systêmes d'ondulations sont dans leur mouvement ou leur marche, indépendants les uns des autres, et que la lame DQR, lorsqu'elle arrive contre ce mur, ne peut rien changer aux dispositions de la partie ABD de la lame KCD.

93. 3° Qu'il doit nécessairement s'établir un nouveau centre d'ondulation à l'extrémité H de ce mur, parce qu'il est encore de la nature des eaux de tendre sans cesse au repos; repos qu'elles ne peuvent jamais obtenir que lorsqu'elles sont parfaitement de niveau.

4° Que la durée de cette nouvelle oscillation sera nécessairement la même que celle de la lame à qui elle doit son existence, puisqu'elle sera nécessairement entretenue pendant tout le temps du passage de la lame OP à l'extrémité H du mur FH.

5° Que le volume de cette lame mere ou génératrice diminuera en proportion de ce qu'elle aura perdu pour former la nouvelle lame.

6° Enfin, que la durée de cette nouvelle lame étant la même et sa longueur à-peu-près égale, et sa hauteur nécessairement moindre, elle aura nécessairement aussi diminué de volume et perdu de sa force.

94. Il n'y a nul doute que toute la partie de la mer STU, ne fût elle abritée que par ce mur, n'éprouvât un calme qui ne peut exister ailleurs, surtout si à son origine il était appuyé contre une terre F ou une roche solide, et que si l'on construisait ou qu'il se trouvât dans la même direc-

tion, et à peu de distance de son extrémité H, un second mur ou un obstacle quelconque XY, tracé en lignes ponctuées, il n'arrivât dans ce second cas ce qui est arrivé dans le premier, la même lame OP, en passant par le point X, y formerait (mais toujours en perdant quelque chose de son volume), un nouveau centre d'ondulations qui s'étendraient derriere ce nouveau mur vers Z : nous pouvons, par un calcul très-simple, prouver la vérité de ces diverses assertions.

95. Soit une baie AA; BB, la mer; CD, des roches inébranlables; CE et DF, deux digues attachées à ces roches séparées par un vide EF de cent cinquante toises (trois cents met.), des ondes G et H de deux toises (quatre metres) de creux, sur vingt toises (quarante metres) de longueur, dont la révolution, ou plutôt dont le mouvement d'ascension et de dépression se fasse en vingt secondes, ou encore dont la vîtesse soit de deux toises (quatre metres) par seconde (1). Pl. V, fig. 1.

(1) Il est assez rare que l'on trouve sur les atterrages, des ondes qui aient ces dimensions; tous les navigateurs attestent qu'elles existent dans les hautes mers. J'observerai encore, et je ne puis trop le répéter, que les expériences que j'ai pu faire ne peuvent être rigoureusement exactes, faute de moyens ou de temps favorables; qu'il est possible que la vîtesse de ces

Le profil d'une lame de ces dimensions offrira une section que l'on peut supposer égale à la surface d'un triangle isocele de même base et de même hauteur. (art. 58.)

Lorsque les lames venant du large arriveront sur ces digues, leur largeur (art. 15) sera réduite à cent cinquante toises (trois cents metres) : ainsi le cube de la lame H qui peut être immense parce que sa largeur est indéfinie, ne sera que de trois mille toises cubes quand elle occupera l'espace G ; c'est donc uniquement sur l'effet de cette portion de lame que nous devons porter notre attention.

En pénétrant dans l'intérieur de la baie, il se formera à chacune de ses extrémités, ainsi que nous venons de le dire (art. 93), un nouveau centre d'oscillation aux points E et F, dont la durée sera égale, à celle de la lame génératrice G, et le cube de cette premiere lame que nous avons supposé de trois mille toises (vingt-deux mille deux cent douze metres), ne sera plus que de trois mille toises, *moins* la quantité d'eau

ondes, que j'ai portée à douze pieds par seconde, soit un peu moindre ou un peu plus forte, mais que les erreurs que j'aurais pu commettre à cet égard n'alterent en rien la vérité du principe que je cherche à établir.

qu'elle aura perdue pour former les deux petits prismes, demi-circulaires *a* et *b*.

Dans la seconde révolution, elle occupera l'espace n° 2, et son cube sera de trois mille toises, *moins* celui de deux prismes triangulaires *c* et *d*, et ainsi de suite.

96. Nous avons supposé que la durée du mouvement de ces grosses lames était de vingt secondes, et que l'espace qu'elles parcouraient pendant cet intervalle était de vingt toises (quarante met.) ainsi dans une minute, ou après sa troisieme révolution et à soixante toises de l'entrée de la baie, la base de la lame G, dont la largeur n'était que de cent cinquante toises, se trouvera composée de cette même largeur : plus la largeur réduite des deux prismes *ef*, ce qui formera déja une largeur totale de plus de trois cents toises au lieu de cent cinquante toises ; ainsi la surface de la baie de cette nouvelle lame sera de six mille toises, au lieu de trois mille toises ; et son volume n'ayant pu recevoir d'augmentation, la hauteur de la vague supposée de douze pieds sera nécessairement réduite en proportion, c'est-à-dire, au moins de la moitié, ou à six pieds au lieu de douze ; d'où il suit que la dénivellation qui était de six pieds entre les deux digues, ne sera plus que de trois pieds dans l'intérieur de la baie, après sa

98. Pour établir notre théorie et pour éloigner d'ailleurs les motifs d'objections ou de difficultés que l'on aurait pu nous faire, il nous a fallu supposer que les deux digues et les bords de cette baie étaient absolument à pic, ou descendus d'aplomb à une profondeur considérable, pour que les vagues n'éprouvassent aucun obstacle ou aucune réaction dans leur mouvement, circonstance sans doute qui se rencontre très-rarement même dans l'immense développement des côtes de toutes les mers; mais on peut en faire sans doute l'application dans les cas qui se présentent le plus ordinairement; les résultats, à très-peu de différence près, doivent être les mêmes.

Pl. VI. Le plan de la baie qui nous a servi pour nos démonstrations, est absolument calqué sur celui de la baie de Saint-Jean-de-Luz.

99. Il n'y a donc nul doute qu'au moyen des deux jetées CE et FB, anciennement projetées entre le fort de Sainte-Barbe, et du Soccoa, on ne parvînt à faire de cette baie un lieu de refuge et un port assuré, où les gros vaisseaux, comme les plus petites barques, seraient en même temps à l'abri des coups de mer et des vents les plus impétueux.

Je puis citer des faits à l'appui de cette asser-

tion. En 1788, les deux premieres parties AB et DC de ces deux digues, avaient été élevées sur une longueur de quatre-vingt-dix toises chacune, leur effet bienfaisant commençait à se faire sentir dans le fond de ce port, les vagues brisées aux deux extrémités A et D de ces deux jetées par une suite nécessaire des principes que nous venons d'établir, perdaient déja de leur force en se développant sur les plages GHI, KLM; déja l'action désastreuse des galets se faisait moins apercevoir contre les murs de garantie NOP, construits à grands frais pour sauver la ville. La formation des barres à l'entrée du chenal Q, était devenue moins fréquente (1), et un vais-

(1) Avant la construction des deux jetées de Sainte-Barbe et du Soccoa, toute l'embouchure de ce chenal se trouvait assez souvent fermée par les graviers et les sables que la mer assemblait sur la plage, et faisait passer au-dessus des murs de garantie, en assez grande quantité, pour établir à ce point à travers du chenal entre Saint-Jean-de-Luz et Ciboure, une communication avec bœufs et charrettes, plus élevée que les parapets des jetées et que le sol des quais et des rues de la ville; par ces accidents, qui ne sont point arrivés tant que ces deux parties des moles de Sainte-Barbe et du Soccoa ont subsisté dans leur intégrité, l'entrée et la sortie du port étaient absolument fermées, les eaux de la Nivelle refluaient dans les rues et sur les terres cultivées des communes voisines, ce qui portait le plus grand préjudice aux habitants des campagnes

seau de cinq cents tonneaux jeté dans cette baie par une des plus furieuses tempêtes que l'on eut remarqué sur cette côte, abandonné au hasard sur ses ancres pendant quatre ou cinq jours, résista durant ce long intervalle, et n'éprouva que quelques légeres avaries qui n'étaient qu'une suite également nécessaire de l'abandon dans lequel on l'avait laissé.

Malheureusement les deux extrémités A et D des digues de Sainte-Barbe et du Soccoa, depuis que les travaux sont suspendus, ont été détruites par les coups de mer, sur quinze toises de longueur chacune, et les bons effets des deux parties qui subsistent ne peuvent plus être aussi facilement aperçus (1).

et de la ville. La petite riviere d'Urdasoubi avait les mêmes inconvénients, y est sujette encore, mais n'y est pas aussi fréquemment exposée.

(1) Ce n'est point précisément aux vices de construction qu'on doit attribuer la destruction de l'extrémité de ces deux digues. On était obligé de suspendre l'exécution des travaux pendant la durée des hivers : les moyens de défense qu'on employait ne devaient pas s'étendre au-delà des besoins, et n'étaient par conséquent que précaires. Lors de la révolution les ouvrages furent absolument abandonnés : si on avait pu prévoir cette circonstance, on aurait donné aux masques (c'est le nom que l'on donne à ces extrémités) la solidité convenable pour résister aux événements.

100. Il n'y a nul doute que les parties d'une jetée ou d'un mur, élevées d'aplomb, souffriront d'autant moins qu'elles seront plus au-dessous du sommet de la lame qui vient frapper contre.

Que l'action du mouvement horizontal (art. 39) d'une lame est d'autant plus forte que le poids ou la masse de cette lame est plus considérable.

Nous avons je crois assez bien démontré qu'une lame AID, arrivant sur le mur GB, ne devait pas s'élever au-dessus du point G, de niveau avec son sommet quand elle est libre dans son mouvement, et quand la face verticale de ce mur descend à une profondeur indéfinie, et que si cette face au contraire avait un talus de quarante-cinq degrés, ainsi qu'il est indiqué par la ligne ponctuée GK, la réaction occasionnée par ce talus ferait soulever la lame, et en ferait rejaillir nécessairement une partie sur la surface GL de ce même mur. Pl. V, fig. 2.

En supposant toujours que ce mur soit d'aplomb, que sa partie supérieure ne s'éleve que jusqu'à la ligne MF, et que la lame soit la même, toute la portion *a*, *b*, *c*, de cette lame passera au-dessus de ce mur, et retombera sur son revers, et toute la partie inférieure *f*, *a*, *c*, *g*, dans son mouvement vertical, ne produira

(art. 92) d'autre effet que sa pression contre la face verticale au-dessous du point F.

On peut appliquer le même raisonnement pour la partie *d*, *a*, *b*, *c*, *e*, de cette même lame et même pour sa masse AIDC tout entiere ; en supposant que la partie supérieure de ce mur ne s'éleve pas au-dessus du niveau des lignes NE ou OA.

Si dans les quatre cas différents que nous venons de supposer, on opposait des parapets PL, PM, PN et PO, élevés sur le sommet de cette digue LG, la portion de la lame refoulée par le talus GK, après avoir surmonté ce sommet, irait se briser contre cet obstacle, et sans contredit avec beaucoup de violence.

Dans le second cas, la portion ou la premiere section *a*, *b*, *c*, de cette lame, dans le troisieme, toute la portion *d*, *a*, *b*, *c*, *e*, et dans le quatrieme enfin toute la lame entiere, viendrait frapper contre ce parapet avec une force d'autant plus redoutable, ou une fureur d'autant plus grande, que sa longueur et sa hauteur seraient plus considérables.

101. Le point où l'action de ce mouvement horizontal paraît avoir la plus grande activité, se trouve (art. 39) aux deux tiers de la hauteur de

la lame à partir du sommet, ou, ce qui revient au même, à un tiers CH de cette même hauteur au-dessus du creux.

On a ignoré jusqu'à présent, et peut-être ne l'ignorera-t-on pas encore long-temps, jusqu'à quel point au-dessous de la surface des mers pouvait se faire ressentir le mouvement vertical des ondes; mais on ne peut douter (art. 32 et 33) des effets qu'il produit à de très-grandes profondeurs.

102. Il suit des art. 31, 32, etc., que plus une vague a de longueur et de hauteur, plus elle a besoin de fond pour son développement; que sa superficie se souleve ou se brise par-tout où cette profondeur lui manque, et que cet effet ne peut être que celui de la réaction, qu'elle ne peut enfin éprouver de réaction sans perdre en même temps de son activité ou de sa force.

Si nous supposons que l'inclinaison du lit de la mer ou le talus d'une digue descende par une pente de cinq de base sur un de hauteur, qu'une lame de quatre metres de creux ait besoin d'une longueur de vingt metres (dix toises) pour faire sa révolution, et que son mouvement naturel puisse être interrompu par le fond à cent vingt metres (soixante toises) de la rive, il est évident qu'elle aurait cinq révolutions à faire avant de

parvenir à cette rive, qu'à chaque révolution elle perdrait une cinquieme partie de sa hauteur, abstraction faite cependant de l'exhaussement qu'elle aurait pu acquérir en se développant sur ce grand talus, et qu'en arrivant sur la plage, sa force se réduirait presqu'à rien ; mais quelle dépense ne faudrait-il pas faire pour l'établissement d'une digue avec un talus de cette espece, s'il fallait l'étendre jusqu'à cette grande profondeur. En supposant même qu'on pût y parvenir, n'éprouverait-il pas encore à sa surface un choc préjudiciable de la vague dont il doit décomposer le mouvement ?

103. En considérant d'ailleurs qu'une faible lame de douze ou quinze pouces de longueur au plus, sur un pouce de creux, s'éleve (art. 47) à cinq ou six pouces au moins au-dessus de son niveau par un talus à-peu-près égal, jusqu'à quel point s'éleverait donc celle dont nous avons supposé la base de vingt metres (dix toises), quand elle n'aurait que douze pouces de hauteur, et quel serait son effet sur la surface de ces talus dans son mouvement d'ascension et de *descension*, si je puis me servir de ce terme ? Nous avons vu (art. 39) qu'une vague augmentait de force, du moins jusqu'à un certain point, en raison de sa

longueur, et qu'enfin une lame de trois pieds (un metre) de creux et cinq toises (dix metres) de longueur, déplaçait une pierre du poids de douze cents livres (six cents kilogrammes).

104. Il résulte des expériences et des faits précités, 1° que lorsque la fondation d'une digue se trouvera au-dessous de la surface des eaux, plus les talus se rapprocheront de la verticale, moins ils auront à souffrir de l'action du mouvement horizontal des ondes; mais que dans ce cas la force du mouvement vertical doit se rejeter nécessairement vers le fond.

2° Que si au contraire cette fondation était établie au niveau ou un peu au-dessus de cette surface, toute la force du mouvement horizontal se porterait contre cette digue.

Dans le premier cas, il n'y a nul doute que les murs élevés d'aplomb n'eussent de grands avantages sur les murs en talus, et dans le second cas, il n'est pas bien démontré que ceux-là n'en conservassent pas encore quelques-uns sur ceux-ci, et ne dussent leur être adaptés même de préférence.

Il est bien vrai que la partie du mur vertical sur laquelle la lame viendra directement aboutir, en recevra plus immédiatement le choc, et que

ce choc au point de contact sera plus violent que si elle trouvait une surface inclinée pour se développer ou s'étendre; mais dans la premiere supposition les eaux ne peuvent s'élever que verticalement ou par éclaboussure, et dès-lors toute l'action du mouvement horizontal cesse; dans la seconde, aucune de ces deux forces n'est totalement détruite; elles conservent l'une et l'autre toute leur activité sur la surface de ces talus; elles peuvent élever les eaux dans quelques cas (art. 47) à une hauteur cinq ou six fois plus grande que celle à laquelle elles auraient dû naturellement parvenir; et ces eaux, soit en montant, soit en retombant, labourent ces talus et les parcourent avec la vîtesse et la fureur des torrents.

105. 3° Que la pente plus ou moins inclinée du lit de la mer, ou que ses dispositions à former des atterrissements ou à faire des progrès dans les terres, exigent plus ou moins d'attention dans le choix des moyens qu'on veut lui opposer, et que telle espece de construction réussirait sur les côtes du nord, qui ne serait pas admissible dans quelques parties du golfe de Gascogne, c'est-à-dire, par-tout où la mer empiete sur les terres; qu'on chercherait inutilement enfin à lutter contre ses efforts, si la fondation des ouvrages

n'était pas à l'abri des effets du mouvement vertical des ondes, et établie sur un sol assez ferme ou sur des roches assez solides pour y résister.

106. 4° Que l'inclinaison du lit de la mer est toujours relative, sur-tout aux atterrages, à la longueur et à la hauteur des vagues, à la disposition des terres et à celle des roches ou des bancs sous-marins; que cette inclinaison change et devient plus rapide dans les tempêtes, et qu'elle se rétablit ou diminue dans les temps calmes; qu'elle ne peut cependant éprouver des changements bien sensibles qu'à la longue ou par des mouvements brusques, tels que ceux qui sont l'effet des feux volcaniques, des tremblements de terre ou de grands éboulements; que toutes les côtes sont à la vérité journellement détruites, mais que leurs débris pulvérisés se répandent sur les plages, ou sont disséminés sur la surface immense de ce lit, et transportés peut-être jusques dans ses abîmes les plus profonds, que par conséquent on peut regarder l'inclinaison du lit de la mer comme toujours subordonnée à toutes ces causes.

107. Donc nos faibles murs de garantie, nos jetées, nos digues et tout ce que nous pourrions faire pour la conservation de nos villes et de nos ports, ne rempliraient que très-imparfaitement

ou très-précairement notre but, si avant de les construire on ne s'était bien assuré de la solidité des bases sur lesquelles ils doivent être établis. Malheur à toute entreprise, à tout ouvrage de ce genre, quelque solide qu'il fût d'ailleurs, s'il était établi sur un fonds de gravier ou de sable; tôt ou tard il serait renversé, parce que tôt ou tard il serait affouillé et sapé par sa base. Je pourrais malheureusement citer plusieurs exemples à l'appui de cette assertion (1).

(1) Les jetées, et partie des murs du chenal, ceux de garantie exécutés depuis près d'un demi-siecle au fond de la baie, pour la conservation du port et de la ville de Saint-Jean-de-Luz, avaient été construits sur pilotis et avec toutes les précautions et les soins dont ces sortes d'ouvrages sont susceptibles : ils ont été successivement ruinés, les maisons qu'ils devaient défendre ont été détruites, et la majeure partie de la ville n'existerait peut-être plus, si on n'avait pas établi à grands frais sur leurs ruines de nouveaux moyens de défense, qui dans ce moment paraissent efficaces, mais qui, comme tous les autres, seront bientôt d'une nullité absolue. Ces ouvrages ont été bâtis sur le sable; la mer, dans le fond de la baie, fait journellement des progrès, et après avoir enlevé les galets et les sables qui en défendent le pied, enlevera ceux sur lesquels ils sont maintenant appuyés, et les habitants de cette ville n'échapperont point au malheur dont ils sont menacés si on ne vient à leur secours par des moyens plus efficaces.

Nous l'avons déja dit, la conservation de tous ces ouvrages

108. Cette précaution au reste ne peut être rigoureusement nécessaire que dans les parties des côtes sur lesquelles la mer fait des progrès sensibles, et il est possible que par la disposition de ces côtes l'inclinaison de son lit soit telle, que les vagues fussent amorties et presque anéanties avant de parvenir aux constructions qui y seraient autrement exposées, et que les plages sur lesquelles elles viennent mourir, aient au contraire des dispositions à s'atterrir, circonstance qui se rencontre souvent dans le voisinage des ports situés à l'embouchure des grandes rivieres, quelquefois dans celui des ports de la Manche, et dans les ports des côtes de la mer du Nord; mais dans tous les cas, avant de présenter aucun projet, soit pour l'établissement d'un nouveau port, soit pour la conservation de celui qui existe, l'ingénieur doit essentiellement examiner la direction des vents et le régime de la mer dans le lieu où les ouvrages doivent être exécutés, et prévoir

et celle de la ville entiere dépendent absolument de la construction des deux jetées de Sainte-Barbe et du Soccoa, dont le bon effet est incontestable, et dont la solidité serait telle qu'on doit le desirer, puisque l'une et l'autre peuvent être élevées sur un fond de roches, sur la tenue duquel on peut également compter.

même les changements que ces nouveaux ouvrages pourraient y apporter ; faire attention sur-tout aux effets certainement bien différents des ondes sur les corps qu'elles frappent lorsqu'elles ne sont mues que par leur force verticale seule, ou par les deux forces verticale et horizontale réunies, et bien proportionner enfin au résultat de ces diverses forces les masses ou les moyens qu'il veut leur opposer. Ces observations ne peuvent être indifférentes, je crois, à tous ceux qui s'occupent de travaux maritimes, et en général de la conservation des ports.

109. Il est prouvé par l'expérience (art. 31) que le mouvement vertical des ondes de cinq à six pieds de hauteur est réfléchi ou par le fond ou par une roche, à treize ou quatorze metres au-dessous du niveau des eaux, et (art. 32 et 33) que la profondeur de vingt à vingt-quatre metres est insuffisante pour l'entier développement d'une vague de trois à quatre metres de creux ; donc les débris atténués des montagnes d'Espagne, de la Saintonge, de la Bretagne, etc, etc., peuvent être mis en mouvement et déplacés par ces lames, et à l'aide des courants être roulés à de grandes profondeurs, transportés à de grandes distances,

rejetés sur les plages; c'est ainsi que se sont formés ces vastes attérissements, ces plaines fertiles des trois Flandres, et ces immenses amas de sables destructeurs qui désolent tant de belles contrées entre l'embouchure de l'Adour et celle de l'Escaut. Nous ne contesterons point que les grands fleuves ne contribuent pour quelque chose à la formation de ces nouvelles terres, et leur majeure partie, d'ailleurs, n'est-elle pas entraînée par les courants assez rapides dont l'action se fait apercevoir souvent à plusieurs myriametres de distance de l'embouchure de ces fleuves; très-certainement les matieres qu'ils abandonnent ne formeraient pas des masses assez considérables pour opérer d'aussi grands effets si elles n'étaient augmentées par celles que la mer détache de ses bords; mais que deviendrait elle-même cette quantité prodigieuse de débris s'ils devaient être à jamais ensevelis sous les eaux, quelque grande qu'on puisse supposer la mer, quelle que fût la profondeur de ses abîmes et de son lit, il finirait sans doute par en être totalement comblé, si elle n'avait pas les moyens de les rejeter ou de les vomir sur ses bords. Donc l'immense quantité de sables dont les dunes du golfe de Gascogne sont

composées, peuvent provenir des débris des côtes d'Espagne et de Saintonge, passer pour y parvenir au-dessous des baies du passage de Saint-Jean-de-Luz, d'Arcachon et des embouchures des rivieres de la Gironde et de l'Adour; donc ces sables ont pu même être arrachés du fond des eaux (1).

(1) Cette assertion me paraît si naturelle et si vraie, que je n'eusse jamais songé à la défendre si elle ne m'eût été contestée verbalement et par écrit par des hommes éclairés et d'un mérite rare, et dont j'ai toujours respecté particulièrement les connaissances et les opinions.

TABLE DES MATIERES

CONTENUES

DANS CE MÉMOIRE.

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION ET DÉFINITION DE QUELQUES TERMES NÉCESSAIRES POUR L'INTELLIGENCE DES MATIERES.

PREMIERE SECTION.

INTRODUCTION.

SECTION II.

Définitions de quelques mots ou termes nécessaires pour l'intelligence des matieres.

SECTION II.

Faits constatés par les marins ou par tous ceux qui ont observé le mouvement des ondes.

SECTION IV.

Expériences qui, conjointement avec les observations et les faits précités, nous ont servi de base pour l'établissement de notre nouveau systême sur le mouvement des ondes.

8.

SECTION V.

Explication de quelques phénomenes assez ordinaires dans le mouvement des ondes.

CHAPITRE III.

EXPLICATION DE LA BARRE OU DU MASCARET; DE L'IRRÉGULARITÉ DANS LA LONGUEUR, LA HAUTEUR ET LA PROFONDEUR DES ONDES, ET DE LEUR ACCROISSEMENT ET LEUR DÉCROISSEMENT PÉRIODIQUE OU SUCCESSIF.

PREMIERE SECTION.

Explication de la barre ou du Mascaret.

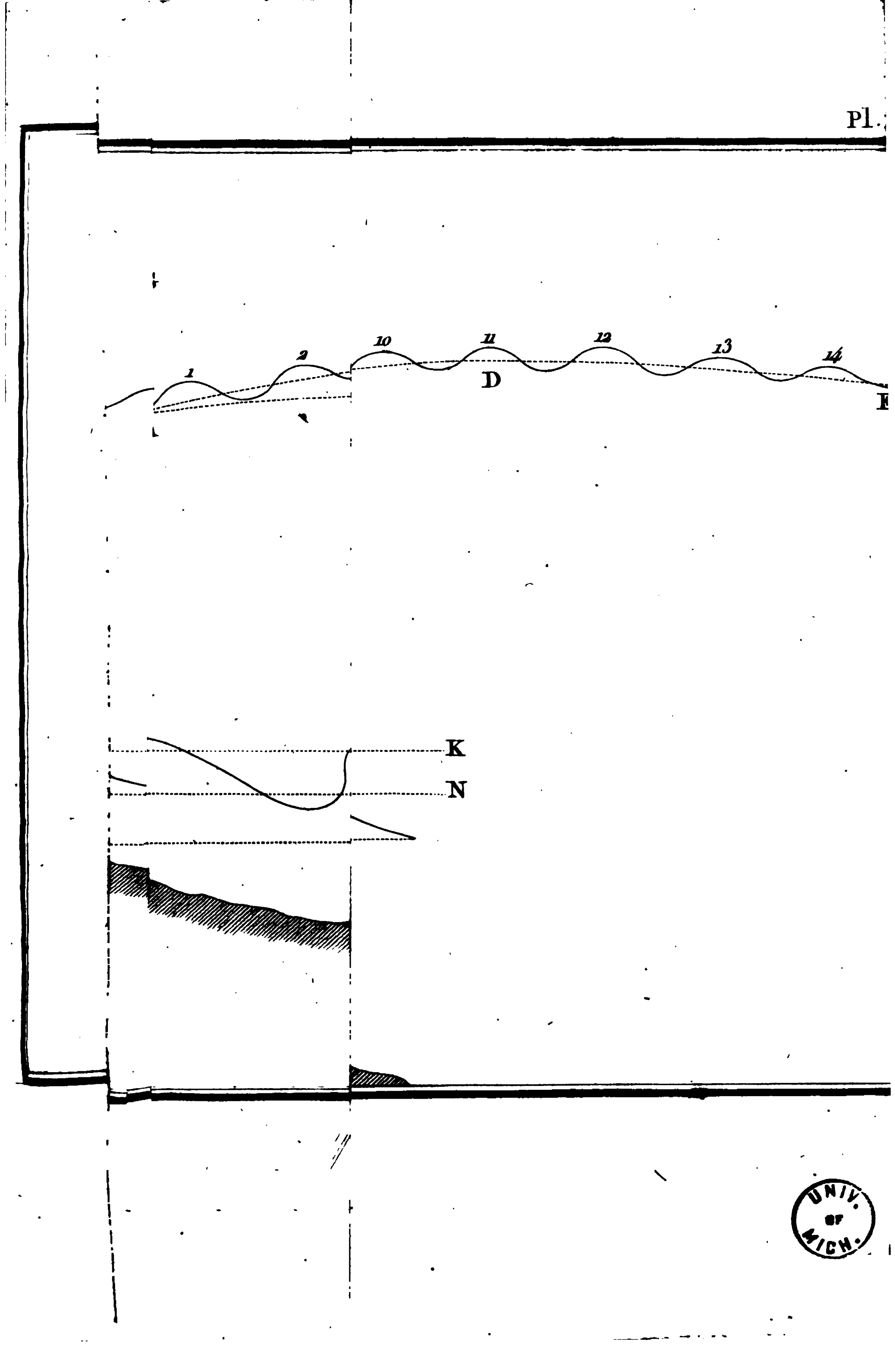
SECTION II.

Sur l'accroissement, le décroissement et le retour périodique des lames.

CHAPITRE IV.

APPLICATION DE CETTE THÉORIE AUX TRAVAUX MARITIMES.

FIN DE LA TABLE.


Pl.
1
2
10
11
12
13
14
D
K
N

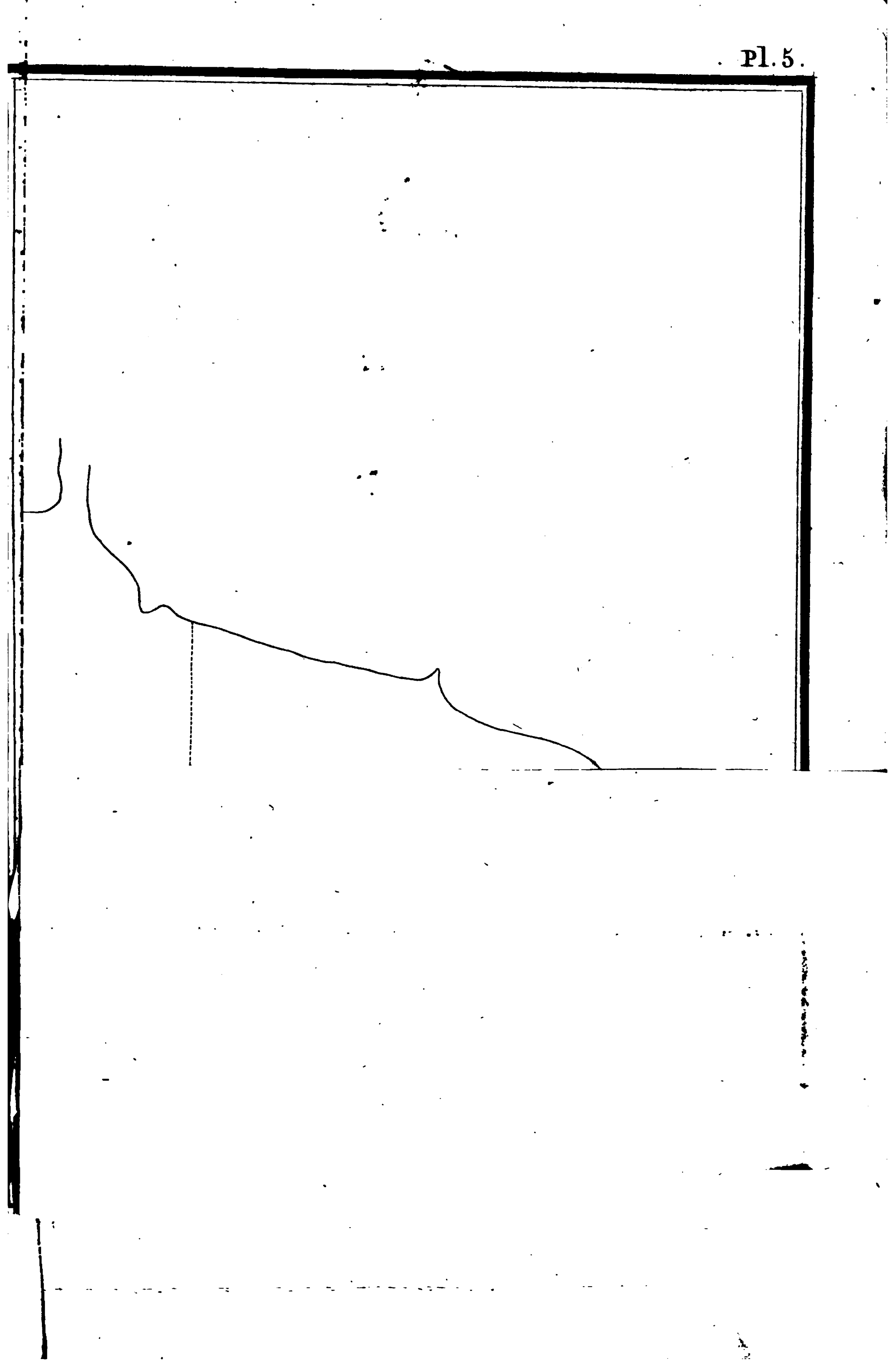
H

Pl. 4.

ig. 2.

D

P



E LUZ.

M

L

K

A

B